



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

ETSEIAT

Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Memòria

Realitzat per:

Robert Boada Quesada

Director:

Lluís Gil Espert

Treball Fi de Grau

Data d'entrega: 22 de Juny de 2016



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Índex

1	Objecte del treball	6
2	Justificació del estudi	6
3	Abast de l'enginyeria bàsica.....	7
4	Especificacions bàsiques del estudi.....	8
5	Planificació del estudi.....	9
5.1	Identificació dels entregables i dels paquets de treball a partir de l'estructura de descomposició del projecte (EDP o WBS)	9
5.2	Identificació i descripció de les activitats requerides per obtenir els entregables identificats a partir del WBS.....	10
5.3	Identificació de las relaciones de dependència entre activitats.....	11
5.4	Estimació del temps requerit (duració) per realitzar les activitats	12
5.5	Calendari d'execució de la Enginyeria bàsica (Diagrama de Gantt)	13
6	Estudi previ.....	15
6.1	Estudi dels geotèxtils.	15
6.1.1	<i>Estudi de mètodes de fabricació.</i>	<i>25</i>
6.2	Estudi de les fibres reciclades de pneumàtics.....	27
6.3	Estudi de substàncies o mètodes d'unió.	30
6.4	Estudi de normatives.....	32
7	Provetes.	35
7.1	Creació de provetes.....	35
7.1.1	<i>Material necessari per a la realització de les provetes.</i>	<i>36</i>
7.1.2	<i>Elaboració dels motlles.</i>	<i>40</i>
7.1.3	<i>Elaboració de les provetes.</i>	<i>43</i>
7.2	Assaig de provetes.	62
7.2.1	<i>Assaig de resistència a la tracció.</i>	<i>63</i>
7.2.2	<i>Assaig de permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla.</i>	<i>94</i>
8	Sistema de Producció.	99



**Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de
pneumàtics**

8.1	Producció de geotèxtil amb fibres i cera.....	99
8.2	Producció de geotèxtil amb fibres i cola.....	100
9	Estudi mediambiental.	101
10	Costos.....	102
11	Conclusions.	104
12	Futurs Treballs.	106
13	Bibliografia.	107



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Índex de Figures

Figura 1. Diagrama WBS.....	9
Figura 2. Diagrama de Gantt.....	14
Figura 3. Aplicació de geotèxtils en la construcció de les noves pistes del aeroport de Màlaga.....	17
Figura 4. Instal·lació d'un geotèxtil en el fons d'un terraplens per el drenatge del mateix a Sevilla.....	18
Figura 5. Utilització d'un geotèxtil per a la contenció d'un abocador.....	19
Figura 6. Utilització d'un geotèxtil per protegir de la erosió del riu al terreny de la vora.....	19
Figura 7. Utilització d'un geotèxtil per a contenir les marees i poder expandir el territori.....	20
Figura 8. Utilització d'un geotèxtil per impermeabilitzar el terreny per evitar desprendiments de la Autovia Ferrol Villalba a Lugo.....	20
Figura 9. Utilització d'un geotèxtil per estabilitzar el terra i separar els diferents tipus de grava.....	21
Figura 10. Diagrama de les capes d'un pneumàtic.....	27
Figura 11. Motlle de 300mm x 300mm sense filtre.....	41
Figura 12. Motlle de 300mm x 300mm amb la malla metàl·lica fent de filtre.....	41
Figura 13. Motlle de 200mm x 200mm sense el cartró.....	42
Figura 14. Fibres de pneumàtic sense netejar.....	44
Figura 15. Fibres de pneumàtic després de ser netejades.....	45
Figura 16. Proveta 1 Cera.....	46
Figura 17. Proveta 2 Cera pel davant i pel darrere.....	48
Figura 18. Proveta 3 Cera.....	51
Figura 19. Proveta 1 Cola.....	53
Figura 20. Proveta 2 Cola.....	55
Figura 21. Proveta 1 Cautxú.....	57
Figura 22. Calandres on es mescla el cautxú amb les fibres.....	58
Figura 23. Resultat d'utilitzar les calandres per mesclar les fibres amb el cautxú.....	58
Figura 24. Premsa de plats calents.....	59
Figura 25. Proveta 2 Cautxú.....	60
Figura 26. Maquina d'assaig de tracció.....	64
Figura 27. Mètode d'avaluació d'assaig de tracció alternatiu.....	65
Figura 28. Mostres Proveta 2 Cera. Adalt de tot la Mostra 1 i abaix d'aquesta la Mostra 2.....	66
Figura 29. Mostra Proveta 3 Cera. A la esquerra la Mostra 1 i a la dreta la Mostra 2.....	67
Figura 30. Mostra Proveta 1 Cola. A la esquerra la Mostra 1 i a la dreta la Mostra 2.....	67
Figura 31. Mostra Proveta 2 Cola. A la esquerra la Mostra 2, en mig la Mostra 1.....	68
Figura 32. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 2 Cera.....	69
Figura 33. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 2 Cera...70	
Figura 34. Mostra 1 Proveta 2 Cera fracturada.....	71
Figura 35. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 2 Cera.....	72
Figura 36. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 2 Cera...73	
Figura 37. Mostra 2 Proveta 2 Cera fracturada.....	74
Figura 38. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 3 Cera.....	75



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Figura 39. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 3 Cera....	76
Figura 40. Mostra 1 Proveta 3 Cera fracturada.....	77
Figura 41. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 3 Cera.....	78
Figura 42. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 3 Cera....	79
Figura 43. Mostra 2 Proveta 3 Cera fracturada.....	80
Figura 44. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 1 Cola.....	81
Figura 45. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 1 Cola....	81
Figura 46. Mostra 1 Proveta 1 Cola fracturada.....	83
Figura 47. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 1 Cola.....	84
Figura 48. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 1 Cola....	84
Figura 49. Mostra 2 Proveta 1 Cola fracturada.....	86
Figura 50. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 2 Cola.....	87
Figura 51. Mostra 1 Proveta 2 Cola fracturada.....	87
Figura 52. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 2 Cola.....	88
Figura 53. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 2 Cola....	88
Figura 54. Mostra 2 Proveta 2 Cola fracturada.....	90
Figura 55. Gràfic assaig de tracció Mostra 3 Proveta 2 Cola.....	91
Figura 56. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 3 Proveta 2 Cola....	91
Figura 57. Mostra 3 Proveta 2 Cola fracturada.....	93
Figura 58. Proveta 2 Cera i indicador de paper.....	94
Figura 59. Proveta 3 Cera i indicador de paper.....	95
Figura 60. Proveta 3 després de passar el assaig.....	95
Figura 61. Proveta 1 Cola i indicador de paper.....	96
Figura 62. Proveta 1 Cola després de passar l'assaig.....	96
Figura 63. Proveta 2 Cola i indicador de paper.....	97
Figura 64. Proveta 2 Cola després de passar l'assaig.....	97

 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</p> <p>Secció Terrassa</p>	<p>Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials</p>	<p>Data: 22-06-2016</p> <p>Robert Boada Quesada</p>
<p>Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics</p>		

Índex de Taules

Taula 1. Descripció tasques.....	10
Taula 2. Relacions de tasques.....	11
Taula 3. Distribució cargues de tasques.....	12
Taula 4. Assignació del Gantt.....	13
Taula 5. Taula de valor ponderat per escollir el tipus de provetes.....	35
Taula 6. Llista de material.....	36
Taula 7. Imatge de cada un dels materials descrits en la taula anterior.....	39

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 6 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

1 Objecte del treball

L'objecte del treball és, realitzar un estudi per avaluar la viabilitat de la fabricació de geotèxtils utilitzant les fibres que s'obtenen en el procés de reciclatge dels pneumàtics.

2 Justificació del estudi

Actualment la societat es troba una situació social en la qual l'impacte mediambiental cada cop té més protagonisme, és per això que es fomenta una major consciència social dirigida a la reutilització i al reciclatge, per aquest motiu és important trobar noves vies o processos en els quals es puguin aprofitar tots aquells materials que ja han complert l'objectiu per el qual estaven plantejats inicialment i que per tant en un principi es considerarien directament com a residus.

Mirant des d'un altre punt de vista, una gran font de contaminació és la necessitat d'aplicar un manteniment a tots aquells elements que es volen conservar en un estat com l'original o millorat, com podria ser el manteniment de les autopistes, per tant també és interessant l'aplicació de factors o mètodes que millorin la durabilitat d'aquests estats, obtenint així una reducció en la necessitat d'aplicar reparacions o tractaments de manteniment que poden afectar al medi (també es podria considerar com una millora econòmica, ja que, si es redueixen aquests tractaments es reduiran els costos que venen associats).

L'estudi busca la viabilitat en la creació d'un geotèxtil o d'un similar el qual pugui assolir les característiques mínimes, per a poder aplicar-se, en alguna necessitat en la qual la solució sigui l'aplicació d'algun geotèxtil, utilitzant com a element principal les fibres que s'obtenen en el procés de reciclatge dels pneumàtics, obtenint d'aquesta forma un nou geotèxtil o similar que tingui un impacte mediambiental menor, tant des del punt de vista de fabricació (donant un ús a un element com són aquestes fibres que actualment s'utilitzen per a cremadors de les cimenteres), com des del punt de vista dels beneficis d'aplicar aquest producte en el medi.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 7 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

3 Abast de l'enginyeria bàsica

En aquest estudi s'inclou el següent abast:

- S'estudiarà que és un geotèxtil i les seves aplicacions.
- S'estudiarà els processos industrials de producció dels geotèxtils que hi ha actualment en el mercat.
- S'estudiarà diferents tipus d'aglutinants o elements per a poder tractar les fibres reciclades de pneumàtics, i s'avaluaran quines són les que es poden aplicar en les provetes.
- S'estudiarà les normatives que han de complir els geotèxtils i els processos de tractament de les fibres.
- Es realitzarà un conjunt de provetes, amb les fibres i els elements seleccionats o sense aquests.
- S'estudiarà els assaigs més significatius per avaluar les provetes i es seleccionarà les que siguin adients per l'estudi.
- Es realitzarà els assaigs seleccionats en les provetes seleccionades.
- S'idearà un procés industrial per a poder fabricar el geotèxtil a partir dels resultats obtinguts de les provetes.
- S'avaluarà els resultats obtinguts dels assaigs i l'aplicació en el procés industrial ideat.
- Es realitzarà un informe mediambiental i econòmic de l'estudi.
- Es realitzarà una avaluació sobre la viabilitat del producte a partir de l'avaluació dels resultats i dels diferents informes que es realitzarà.
- No es realitzarà els assaigs que no es puguin desenvolupar dins de l'àmbit universitari.
- El procés industrial ideat no s'implementarà en un sistema industrial real dins de l'estudi.

 Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 8 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

4 Especificacions bàsiques del estudi

Les especificacions bàsiques de l'estudi consisteixen en el conjunt de condicions que ha de complir el treball. Aquestes condicions són les següents:

- Aprofitament òptim de les fibres reciclades de pneumàtics i de tots aquells elements que es necessitin en el procés.
- El producte obtingut ha de presentar les característiques principals que tindria qualsevol geotèxtil.
- Els assaigs hauran d'estar regulats segons la normativa vigent.
- El procés industrial ideat ha de ser ecològic i tenir un cost reduït.
- El producte obtingut ha de complir la normativa vigent referent als geotèxtils.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

5 Planificació del estudi

5.1 Identificació dels entregables i dels paquets de treball a partir de l'estructura de descomposició del projecte (EDP o WBS)

El següent esquema WBS, que es mostra a la *Figura 1* pretén explicar d'una forma gràfica, clara i senzilla els diferents departaments de l'estudi, de manera que permeti tenir una visió global del mateix.

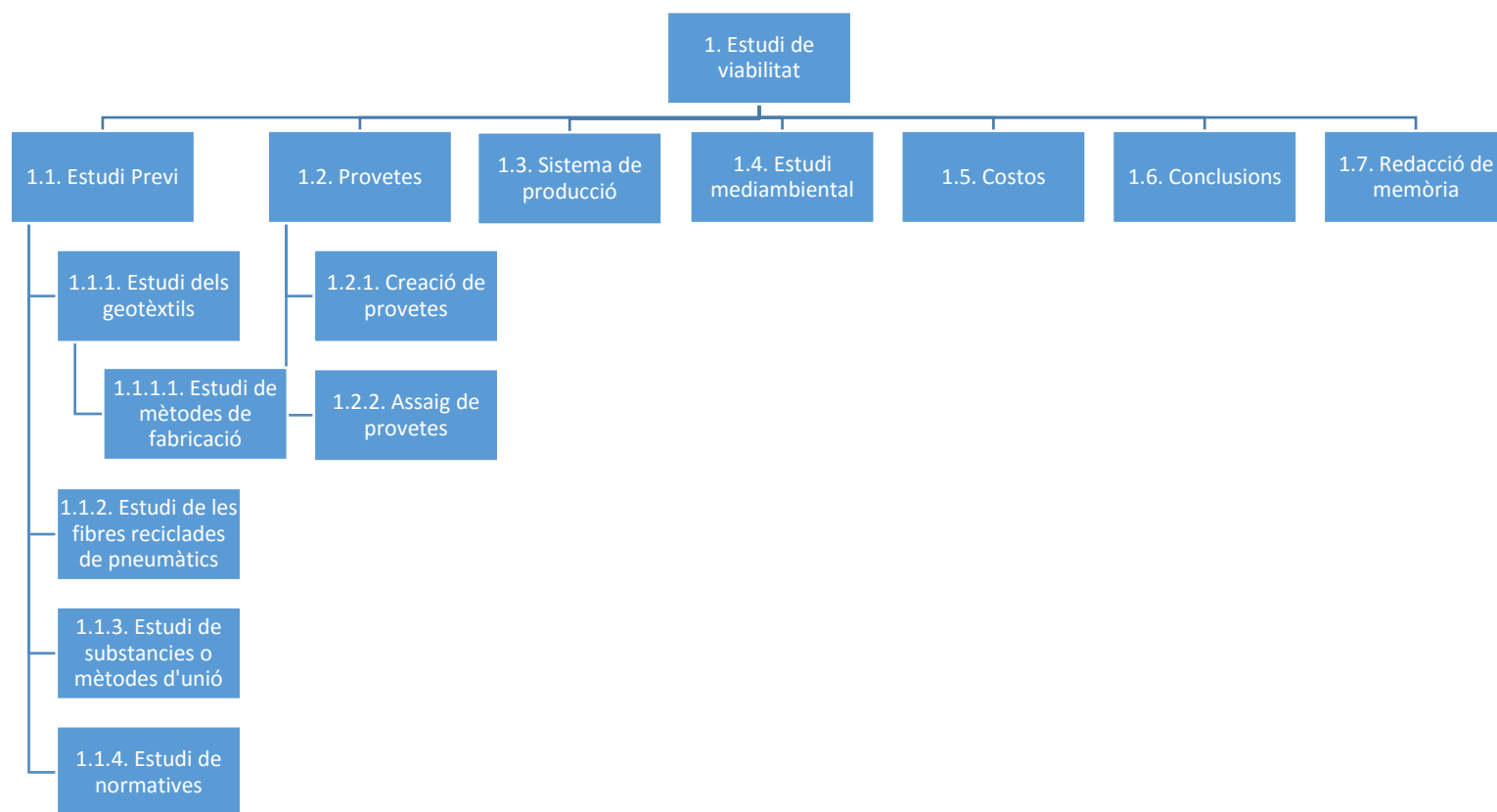


Figura 1. Diagrama WBS.

**Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics****5.2 Identificació i descripció de les activitats requerides per obtenir els entregables identificats a partir del WBS**

La *Taula 1* que es mostra a continuació anomena totes les activitats de l'esquema del WBS, les descriu i dona el codi que tenen assignades.

COD	Activitat	Descripció
1.1.1	Estudi dels geotèxtils	Estudi dels diferents geotèxtils que hi ha al mercat actualment i la seva utilitat.
1.1.1.1	Estudi de mètodes de fabricació	Estudi dels diferents mètodes d'obtenció dels geotèxtils que hi ha al mercat actual.
1.1.2	Estudi de les fibres reciclades de pneumàtics	Estudi de les propietats, mètodes de obtenció i utilitat en l'actualitat, de les fibres reciclades de pneumàtics.
1.1.3	Estudi de substàncies o mètodes de unió	Estudi d'aglomerants o altres substàncies d'adhesió, o mètodes d'unio per al tractament de les fibres i obtenció dels geotèxtils.
1.1.4	Estudi de normatives	Estudi de les normatives de producció de geotèxtils, d'obtenció i tractament de les fibres reciclades de pneumàtics i dels possibles mètodes d'unio.
1.2.1	Creació de provetes	Es combinaran les substàncies d'unio seleccionades juntament amb les fibres, per a crear les provetes de geotèxtils.
1.2.2	Assaig de provetes	Amb les provetes obtingudes s'aplicaran els assaig convenients per avaluar les característiques del geotèxtil.
1.3	Sistema de producció	Amb els resultats obtinguts s'idearà quin és el sistema de producció òptim per a la obtenció dels geotèxtils dissenyats.
1.4	Estudi mediambiental	Estudi mediambiental de tot el procés d'obtenció del geotèxtil.
1.5	Costos	Avaluació dels costos de tot el procés d'obtenció del geotèxtil.
1.6	Conclusions	Avaluació dels resultats obtinguts dels assaigs, del informe mediambiental i del informe econòmic de tot el procés d'obtenció del geotèxtil, i redacció de la viabilitat o no d'aquest.
1.7	Redacció de la memòria	Síntesi i resum de tot el desenvolupament de l'estudi.

Taula 1. Descripció tasques

**Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics****5.3 Identificació de las relaciones de dependència entre activitats.**

La *Taula 2* que es mostra a continuació identifica les dependències que hi ha entre les diferents activitats, és a dir quines activitats inicials s'han de realitzar abans de començar cada activitat posterior.

COD	Activitat	Precedida per
1.1.1	Estudi dels geotèxtils	-
1.1.1.1	Estudi de mètodes de fabricació	-
1.1.2	Estudi de les fibres reciclades de pneumàtics	-
1.1.3	Estudi de substàncies o mètodes de unió	-
1.1.4	Estudi de normatives	-
1.2.1	Creació de provetes	1.1.1, 1.1.1.1, 1.1.2, 1.1.3
1.2.2	Assaig de provetes	1.2.1
1.3	Sistema de producció	1.2.2
1.4	Estudi mediambiental	1.1.1, 1.1.1.1, 1.1.2, 1.1.3
1.5	Costos	1.1.1, 1.1.1.1, 1.1.2, 1.1.3
1.6	Conclusions	1.3, 1.4, 1.5
1.7	Redacció de la memòria	1.1.1, 1.1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.2.1, 1.2.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6

Taula 2. Relacions de tasques



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

5.4 Estimació del temps requerit (duració) per realitzar les activitats

La *Taula 3* que es mostra a continuació mostra els codis de les diferents activitats, les activitats que els precedeixen, les hores de feina necessàries per a la realització de cada activitat i la duració de l'activitat en concret. Amb les hores de feina i la duració es calcula l'esforç setmanal (hores/setmana) que requerirà la realització de cada activitat. Amb aquesta taula es vol calcular el volum de treball de les diferents setmanes.

COD	Precedida per	Esforç⁽¹⁾ (hores/setmana)	Feina⁽²⁾ (hores)	Duració⁽³⁾ (setmanes)
1.1.1	-	20	20	1
1.1.1.1	-	20	20	1
1.1.2	-	20	20	1
1.1.3	-	20	20	1
1.1.4	-	20	20	1
1.2.1	1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.1.3	20	40	2
1.2.2	1.2.1	16.7	50	3
1.3	1.2.2	20	20	1
1.4	1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.1.3	10	10	1
1.5	1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.1.3	10	10	1
1.6	1.3, 1.4, 1.5	30	30	1
1.7	1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.1.3, 1.2.1, 1.2.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6	20	40	2

Taula 3. Distribució cargues de tasques

⁽¹⁾Esforç= N° total de recursos assignats a l'activitat * Capacitat màxima dels recursos (h/sem.)

⁽²⁾Treball= N° total d'hores dedicades a realitzar la tasca

⁽³⁾Duració= Treball/Esforç



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

5.5 Calendari d'execució de la Enginyeria bàsica (Diagrama de Gantt)

El calendari d'execució de l'enginyeria bàsica, o diagrama de Gantt, és una forma de representar les diferents activitats d'una manera gràfica i clara. Està realitzat a partir de la *Taula 1* i amb l'assignació dels recursos indicada a la *Taula 3*. A continuació es mostren el calendari a la *Taula 4* i el diagrama de Gantt a la *Figura 2*.

EDT	Mode de tasca	Nom de tasca	Duració	Inici	Final	Predecessores
1	Programada automàticament	Estudi de viabilitat	65 dies	dl 29/02/16	dv 27/05/16	
1.1	Programada automàticament	Estudi Previ	25 dies	dl 29/02/16	dv 01/04/16	
1.1.1	Programada manualment	Estudi de geotèxtils	10 dies	dl 29/02/16	dv 11/03/16	
1.1.1.1	Programada manualment	Estudi de mètodes de fabricació	5 dies	dl 07/03/16	dv11/03/16	
1.1.2	Programada manualment	Estudi de les fibres reciclades de pneumàtics	5 dies	dl 14/03/16	dv18/03/16	
1.1.3	Programada manualment	Estudi de substàncies o mètodes d'unió	5 dies	dl 28/03/16	dv01/04/16	
1.1.4	Programada manualment	Estudi de normatives	5 dies	dl28/03/16	dv01/04/16	
1.2	Programada automàticament	Provetes	25 dies	dl 04/04/16	dv06/05/16	
1.2.1	Programada manualment	Creació de Provetes	10 dies	dl 04/04/16	dv15/04/16	3;4;5;6
1.2.2	Programada manualment	Assaig de Provetes	15 dies	dl18/04/16	dv06/05/16	9
1.3	Programada manualment	Sistema de producció	5 dies	dl09/05/16	dv13/05/16	10
1.4	Programada manualment	Estudi Mediambiental	5 dies	dl16/05/16	dv20/05/16	3;4;5;6
1.5	Programada manualment	Costos	5 dies	dl16/05/16	dv20/05/16	3;4;5;6
1.6	Programada manualment	Conclusions	5 dies	dl23/05/16	dv27/05/16	11;12;13
1.7	Programada manualment	Redacció de memòria	10 dies	dl30/05/16	dv10/06/16	3;4;5;6;9;10;11;12;13

Taula 4. Assignació del Gantt



**Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de
pneumàtics**

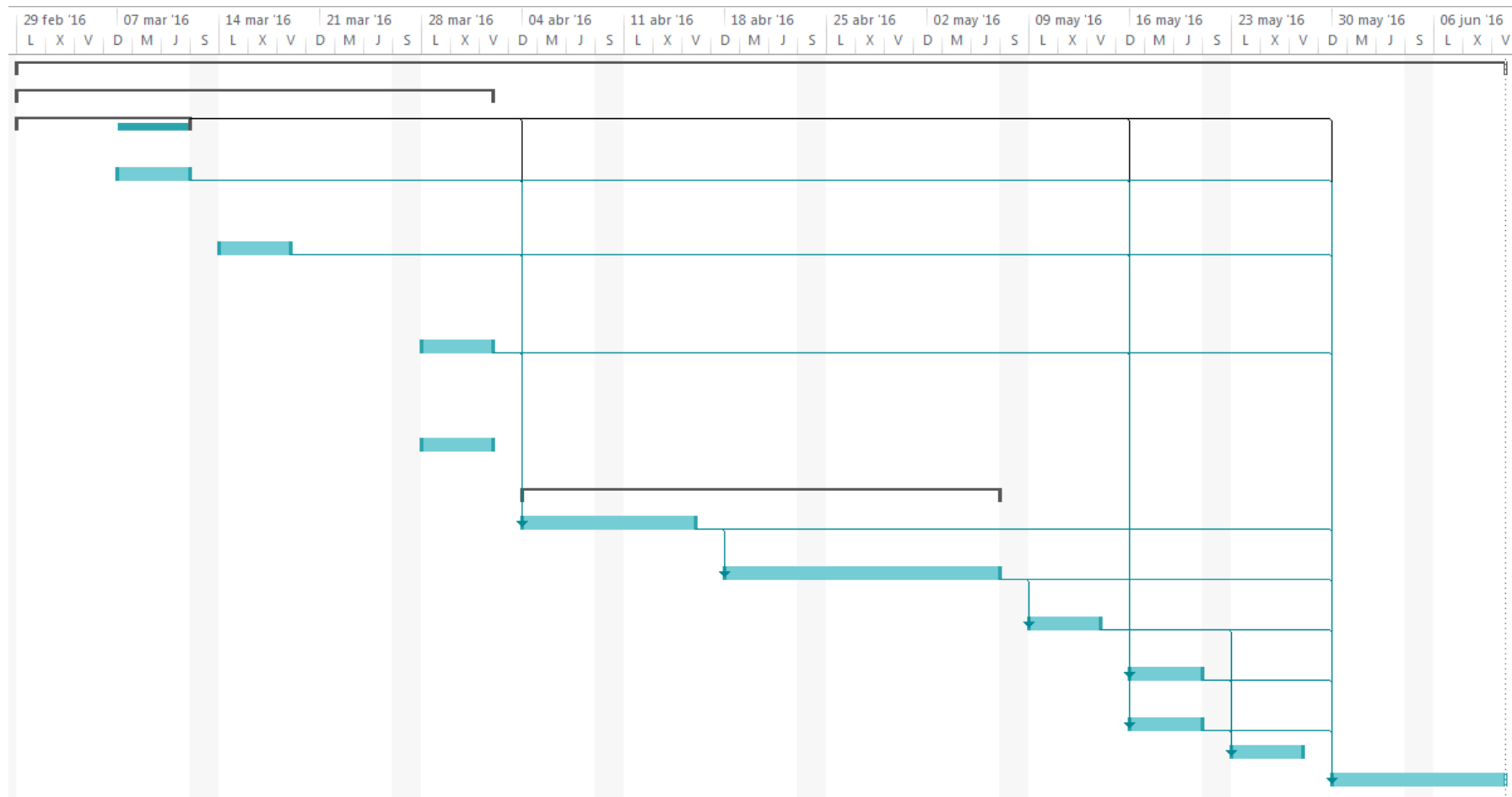


Figura 2. Diagrama de Gantt.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

6 Estudi previ

6.1 Estudi dels geotèxtils.

Un geotèxtil és un material tèxtil de la família dels geopolimèrics (polímers sintètics inorgànics d'aluminosilicat), dins d'aquest grup podem trobar a més a més les geomembranes, les geomalles i els geocomposts, tot i així, els geotèxtils es caracteritzen per ser els més versàtils des del punt de vista de propietats i aplicació.

Els geotèxtils són un producte que ha tingut un impacte molt important en el món de l'enginyeria civil, ja que dona a les estructures unes propietats molt bones, aquest fet es pot apreciar sobretot en l'increment de l'ús d'aquests.

En 1972 s'utilitzaven 5 milions de metres quadrats de geotèxtils en tot el món.

En 1985 es feia un ús d'entre 300 i 400 milions de metres quadrats.

En 1992 el consum anual s'havia incrementat a 1000 milions de metres quadrats.

En Europa l'expansió anual de la manufacturació d'aquest material tèxtil era d'un 9%.

Aquest ràpid creixement va fomentar la investigació i elaboració d'altres geopolímers amb els que es fan un ús combinat amb els geotèxtils.

Actualment segons un informe d'investigació de mercats en el Global Technical Mercado 2015-2019 de Reportstack (biblioteca en línia de publicacions d'investigació de mercat), s'espera que el mercat global de tèxtils tècnics tingui una taxa de creixement anual composta (CAGR, taxa de creixement mitja anual, d'una inversió, durant un període determinat de temps, superior a un any), del 3.91% en termes de volum. Aquest fet és degut al creixement de l'aplicació de geotèxtils a l'enginyeria civil i al desenvolupament de les xarxes de carreteres que s'estan fent en la Unió Europea i països com Xina i l'Índia.

Les fibres que s'apliquen principalment en la producció de geotèxtils són les fibres de poliamides, les fibres de polièster i les de polipropilè. Aquest fet és degut a la seva resistència microbiològica que li proporciona al teixit molt bones propietats.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En el 1980 el baix cost del polièster i el polipropilè van assegurar el seu predomini en el mercat.

Les característiques que ha de complir un bon geotèxtil depenen segons l'aplicació o l'ús que se li vol donar, tot i així, ha de tenir unes propietats mecàniques de tensió mínimes, com una resistència a forces tallants, una fluència específica, un grau de permeabilitat a l'aigua adequat a l'ús que se li vol donar, i dependent del cas, propietats de filtració.

La duració, però, és de les propietats més important en tot geotèxtil, ja que és el principal factor que determina el seu ús potencial, s'ha de considerar que la majoria de llocs en els quals s'apliquen els geotèxtils són per construir a sobre tot un edifici o instal·lació en el que, si per un casualitat s'hagués de fer un canvi del geotèxtil per manteniment, el fet d'haver de remoure tot el que té a sobre suposaria un cost massa elevat i per tant inviable.

La necessitat de l'ús dels geotèxtils apareix principalment amb el problema amb el qual l'enginyeria civil s'enfrontava en el moment en el qual volien instal·lar una infraestructura. Aquest problema ve de la necessitat d'obtenir unes propietats concretes del terra per poder assolir una òptima i segura instal·lació.

La propietat del terra per mantenir una càrrega concreta és crucial per l'estabilitat de qualsevol estructura i és per la recerca d'aquesta estabilitat, en qualsevol superfície, per a la que la creació dels geotèxtils va tindre i guanyar tanta importància, últimament però, també s'ha accentuat l'ús del geotèxtil per la seva bona resistència a les tensions sobretot en l'aplicació en les carreteres, evitant la creació d'esquerdes que empitjorin la seva qualitat.

És l'estructura física i química del terra la que determina quin és el grau de necessitat de les propietats com la permeabilitat, la resistència a les forces tallants i la compressibilitat.

Per tant les principals necessitats que cobreixen els geotèxtils són:

1. Millorar la resistència del terra.
2. Millorar el drenatge.
3. Separació de terres que produeixin variacions en l'estabilitat.

Aquests factors en molts casos mantenen una relació de millora fent que es mantinguin constant entre ells.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Ara que ja se sap quines són les principals necessitat que han de cobrir els geotèxtils es poden definir amb més cura quines són les funcions i aplicacions dels geotèxtils.

Les funcions són:

- Separació: el teixit crea una barrera estable, flexible i porosa entre les diferents capes de terra que tenen respectivament diferents mides i formes de gra (partícules del terra).
- Filtració: el teixit permet que partícules fines i l'aigua puguin travessar-lo, passant d'un terra a l'altre, impedit així que partícules més gruixudes ho puguin fer.
- Drenatge: el teixit pot tenir un grau de permeabilitat més alt que el terra que l'envolta, aconseguint que el fluid travessi el geotèxtil, d'aquesta forma es facilita el pas del fluid del seu voltant a ell.
- Reforç: el teixit gràcies a la seva resistència a la tracció i a la capacitat d'adherir-se a les diferents capes de terra, millora la resistència a les forces tallants del terra, respecte a la capacitat que tindria la superfície sense el geotèxtil.

Les aplicacions en canvi poden ser entre altres:

- Estabilització del terra de les carreteres o de les vies. En la *Figura 3* es pot observar la utilització dels geotèxtils en la construcció de les vies asfaltades d'un aeroport.



Figura 3. Aplicació de geotèxtils en la construcció de les noves pistes del aeroport de Màlaga.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

- Drenatge. En la *Figura 4* es pot observar l'aplicació d'un geotèxtil per a què pugui drenar amb facilitat l'aigua d'aquest terreny.



Figura 4. Instal·lació d'un geotèxtil en el fons d'un terraplens per el drenatge del mateix a Sevilla.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

- Contenció d'aigua en estancs. En la *Figura 5* es pot observar l'aplicació d'un geotèxtil per a crear un estanc artificial sense provocar una expansió d'aquest que pugui danyar el territori.



Figura 5. Utilització d'un geotèxtil per a la contenció d'un abocador.

- Protecció de rius i costes. En la *Figura 6* es pot apreciar l'aplicació del geotèxtil per protegir el terreny de l'erosió que provocaria el riu.



Figura 6. Utilització d'un geotèxtil per protegir de la erosió del riu al terreny de la vora.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

- Contenció per poder expandir territoris. En la *Figura 7* es pot veure la utilització d'un geotèxtil que farà la funció de dic, per a poder contenir les mares.



Figura 7. Utilització d'un geotèxtil per a contenir les mares i poder expandir el territori.

- Reforç d'asfalts. En la *Figura 8* es pot apreciar l'aplicació d'un geotèxtil per a reforçar la carretera per evitar desprendiments a causa del territori.



Figura 8. Utilització d'un geotèxtil per impermeabilitzar el terreny per evitar desprendiments de la Autovia Ferrol Villalba a Lugo.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

- Reforç de terra. En la *Figura 9* s'utilitza el geotèxtil per reforçar el terra i estabilitzar-lo a més a més de separar els diferents tipus de grava que hi ha, millorant les seves prestacions.



Figura 9. Utilització d'un geotèxtil per estabilitzar el terra i separar els diferents tipus de grava.

La durabilitat d'un geotèxtil ve definida en termes de la seva capacitat de mantenir un teixit coherent i que funcioni de manera eficaç en una o més funcions.

La durabilitat és determinada per la resistència que mostren les fibres que el conformen és a dir, la capacitat que té el teixit a suportar els agents degradants que causen la pèrdua de les seves propietats de tensió.

El temps de vida pot ser determinat també per la capacitat que té la tela en ser utilitzada com a drenatge, on s'avaluaria el temps que manté la seva efectivitat com a filtre. Per a determinar-ho s'han de tenir en consideració, la pèrdua de permeabilitat i el bloqueig dels seus porus.

Les primeres discussions importants on es quantificava la durabilitat dels geopolímers van tenir lloc en múltiples conferències i seminaris internacionals durant el període del 1980, gracies això es van redactar un conjunt d'opinions en el que es considerava l'anàlisi objectiu sobre la durabilitat del geotèxtil.

Hi ha molts organismes degradants als quals les geomembranes i geotèxtils es troben exposats, tant en el procés de fabricació com en el lloc en el qual s'apliquen. A continuació es pot observar en la *Taula 4* (Taula extreta de la monografia *The Durability of Geotextiles* de A. Richard Horrocks de la School of Textiles Studies Bolton Institute of Higher Education) els agents més comuns i identificables amb els seus respectius efectes.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Agent	Font	Efecte	Procediment o variació que acceleri l'efecte de l'agent.
Físic			
Estrès / Pressió	Instal·lació / Ús	Trencament, fluència, fractura.	Tests de tensió, adherència, penetració, fluència, temperatura i humitat.
Vent	Instal·lació	Eliminació de volàtils	Assaig de lixiviació i temperatura.
Aigua	Instal·lació / Ús	Eliminació dels additius, plastificants i hidròlisi	Assaig de lixiviació i temperatura.
Dissolvents hidrocarburs /	Instal·lació en gasolineres o petroleres.	Eliminació dels additius, inflamació i fragilització, plastificació.	Proves a la exposició dels solvents i a la temperatura.
Biològica	Instal·lació en animals o insectes	Danys localitzats	

Agent	Font	Efecte	Procediment o variació que acceleri l'efecte de l'agent.
Químic			
Calor més oxigen	Instal·lació en ambients d'altres temperatures	Oxidació, trencament de fibres i pèrdues de tracció	Aplicació d'aire calent o de nitrogen a una temperatura d'entre 90 - 150°C, anàlisis d'absorció d'oxigen.
Llum més oxigen	Instal·lació on estigui exposat a rajos ultra violeta	Oxidació, trencament de fibres i pèrdues de tracció	Exposició a l'arc de Xenó, a temperatures i humitat.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Clima	Magatzem i instal·lació	Efectes combinats de llum, calor, vent i aigua.	Cicles programats d'exposició d'aigua, arc de Xenó i de foscó.
PH de l'aigua	Ús en olis alcalins, hidròlisi en àcids.	Trencament de fibres i pèrdues de tensió	Exposició a aigua calenta i vapors, exposició a àcids, temperatures i concentracions.
Agents químics	Ús en exposició a olis naturals o residus	Degradació general	Exposició a sals o residus químics.
Microorganismes	Ús en exposició a bacteries o a fongs	Pèrdua de tensió per degradació de les fibres	Test de PH
Radiació	Ús en contenció de residus radioactius	Pèrdua de tensió per trencament de les fibres	Exposició a dosis de diferents rajos radioactius.

Taula 4: Agents degradants i els seus respectius efectes.

S'ha de reconèixer que la instal·lació, l'exposició al medi ambient i l'activitat humana tenen un efecte directe a la vida útil dels geotèxtils, ja que són moments en els quals es pot produir un major dany directe o indirecte, que redueixin la seva durabilitat, com pot ser el fet de donar-li una estrebada que estripi el geotèxtil danyant les fibres, o per exemple que en el moment d'instal·lar-lo es produeixi una calamarsada que colpeixi el teixit, etc...

Els agents físics com es pot observar en la taula anterior, en la majoria dels casos, es caracteritzen per ser causats perquè els geotèxtils es troben sota una càrrega constant, aquest efecte, produeix un canvi físic al teixit que és la fluència, aquest esdeveniment pot acabar produint la ruptura del producte.

A part de la fluència hi ha un altre efecte que és l'estrès sobre el teixit, que afecta directament a la durabilitat del geotèxtil.

La fluència, més específicament, es definiria com el procés per el qual les dimensions de les fibres d'un material que es troba sota una càrrega constant durant un període de temps, varien per culpa de la seva viscoelasticitat.

 Secció Terrassa	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
			Pàg.: 24 de 113
			Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics			

Aquesta característica de les fibres esta determinada per les seves regions no-cristal·lines que conformen la seva morfologia.

Per poder calcular aquesta fluència el mètode més simple és, mesurant l'increment de la deformació en funció del temps en el qual les fibres del geotèxtil es troben sota una càrrega constant.

Les càrregues màximes que poden suportar un geotèxtil no solen estar definides d'una forma gaire precisa per als fabricants, tot i així, segons els geotèxtils de polipropilè per aplicacions a llarg termini no es recomana superar un nivell de càrrega del 20% respecte al punt de ruptura, en canvi en el cas dels geotèxtils de polièster i poliamides no pateixen pràcticament fluència en nivells de càrrega del 50% i 40% respectivament, respecte al punt de ruptura.

El efecte més gran de la fluència d'un geotèxtil és la significativa reducció de la resistència a la tracció. Si es coneixen aquestes dades amb profunditat, es poden precisar les càrregues màximes de treball i les càrregues de seguretat que pot suportar el teixit.

L'aplicació d'un estrès exterior o d'una càrrega al teixit, es tradueix en una disminució de la seva vida útil, principalment a través de la fluència, tot i que és possible, que els mecanismes químics degradats també es puguin veure afectats negativament.

Per seleccionar quina és la fibra que es vol per obtenir un geotèxtil particular, s'han de considerar les propietats que es vol obtenir i comparar les diferents opcions.

Normalment la selecció esta basada en la combinació ideal entre les propietats de resistència a la tensió, la fluència, les propietats químiques, les característiques microbiològiques i el cost.

Actualment les fibres que més s'utilitzen per a la fabricació de geotèxtils són el polipropilè, polièster, poliamides, niló. Però també es coneixen geotèxtils de vidre (l'ús esta limitat a la reparació d'autopistes d'asfalt) i geotèxtils naturals (com l'ús de la fibra de coco per a les teles de control de l'erosió).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 25 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

6.1.1 Estudi de mètodes de fabricació.

Els mètodes de fabricació de geotèxtils és classificant segons el tipus de fibra que s'utilitza.

- **Teixits:**

Els geotèxtils teixits fan referència a aquells que tenen les fibres orientades en dues direccions.

Poden ser:

- Teixits plans, segons l'entrellaçat de la trama amb l'ordit es divideixen en tres tipus:
 - Tafetà: la trama passa de forma alternada per sobre i per sota de cada fil o fils en el que es divideix l'ordit.
 - Sarja: l'ordit es divideix en sèries curtes de fils, dels quals només un cobreix la trama en la primera passada i el següent fil en la segona.
 - Setí: en aquest cas l'ordit es divideix en series més llargues que la sarja. Cada fil només cobreix la trama en la primera passada, en la següent el tercer salta un i així successivament.
- Tricotats, segons la màquina que s'utilitzi pot ser pla o tubular, consisteix en fer llaçades unides entre si de manera que quedi una malla uniforme, la màquina treballa amb agulles de llengüeta, que poden lliscar de forma successiva impulsades per unes lleves.
- **No teixits:**

Els geotèxtils no teixits fan referència a aquells que tenen les fibres entrelligades entre elles de forma aleatòria mitjançant processos tèrmics, químics o mecànics, les fibres que pertanyen al producte final són extremadament llargues.

Poden ser:

- Punxonament d'agulla (de l'anglès "Needle Punching"), la unió entre les fibres és una unió mecànica mitjançant agulles que entren i surten a gran velocitat.
- Calandrat, la unió de les fibres és una unió tèrmica on les fibres passen a través de dues calandres, aquestes són dos sèries de rodets de pressió perfectament allisats i calents que allisen i uneixen les fibres per efecte de la calor.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

- Mixta:

Els geotèxtils mixta fan referència a aquells en els que les fibres s'entrelliguen aleatòriament però a diferència dels no teixits les fibres tenen una longitud determinada.

Poden ser:

- Punxonament d'agulla.
- Punxonament i termosoldats, la unió entre les fibres és una unió mecànica mitjançant les agulles del punxonament que entren i surten a gran velocitat, amb una posterior termofusió, aquesta termofusió es pot aconseguir aplicant calandrat durant el procés. Aquest procés dota al producte final una continuïtat de fibres que només amb el punxonament no s'obtidria.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

6.2 Estudi de les fibres reciclades de pneumàtics.

Les fibres que s'utilitzaran en aquest estudi, provenen de la trituració i granulació de pneumàtics, en plantes de tractament de pneumàtics utilitzats.

Els pneumàtics són peces en forma toroïdals, constituïts principalment de cautxú (entre un 70 i 75%), tot i així també està compost de fibra tèxtil (entre un 12 i 15%) i acer (entre un 12 i 15%) i una part molt reduïda de químics que dona les propietats finals desitjades al producte (representa un 1% dels components).

L'estructura d'un pneumàtic està composta per capes, com es pot observar en la *Figura 10* aquestes són:

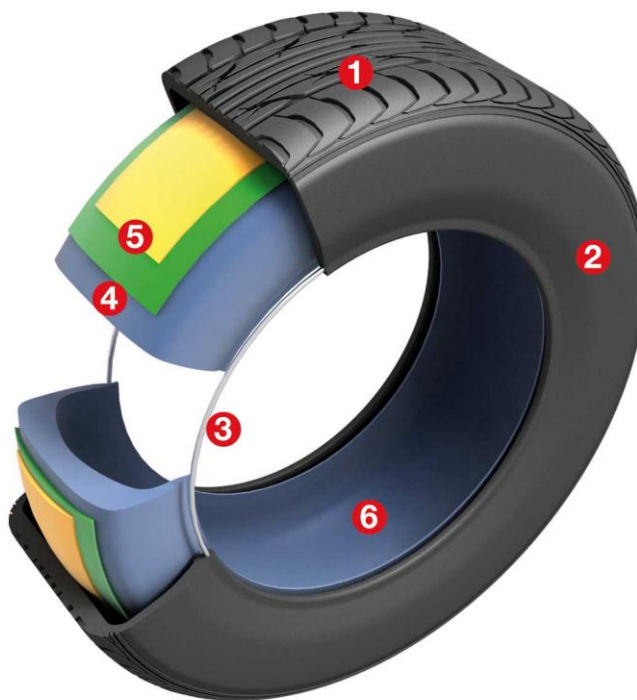


Figura 10. Diagrama de les capes d'un pneumàtic.

1. Banda de rodadura, compost per una mescla de gomes adherents resistents a l'abrasió.
2. Costat de goma, protegeix de xocs que puguin provocar algun mal a la carcassa.
3. Taló, compost d'acer, ajusta la llanta.
4. Carcassa, compost per una mescla de cautxú i cables.
5. Cinturons, compost per cables d'acer.
6. Revestiment interior, compost per cautxú sintètic, serveix de càmera.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Tot i ser un producte clau en el desenvolupament de la societat s'ha demostrat que els pneumàtics tenen un gran impacte mediambiental, per exemple:

- Tarden uns 1000 anys aproximadament en desaparèixer, si es llencen a un abocador.
- L'aigua de la pluja o la humitat que queda estancada en el seu interior és un niu ideal per als mosquits, que poden transmetre malalties.
- Els pneumàtics són un gran focus energètic que augmenten el risc d'incendis.

És per aquest gran impacte el que va fer plantejar crear un seguit de normatives per regular el tractament dels pneumàtics i així reduir els danys mediambientals que produïen. El 30 de desembre de 2005 es va crear el Real Decreto 1619/2005 que es troba al "Boletín Oficial del Estado BOE", sobre la gestió de neumàtics fora d'ús. Aquest decret estableix l'obligació d'elaborar plans empresarials de prevenció que identifiquin els mecanismes de fabricació que allarguin la vida útil dels pneumàtics i facilitin la reutilització i el reciclatge d'aquests al final de la seva vida útil.

L'objectiu principal però és prevenir la generació de neumàtics fora d'ús, establir el règim jurídic de la seva producció i gestió i fomentar, en aquest ordre, la seva reducció, reutilització, reciclatge i altres formes de valorització, amb la finalitat de protegir el medi ambient.

Seguint aquest decret es poden establir diferents mètodes per poder complir l'objectiu, aquest poden ser:

1. Mecanismes per allargar la vida útil:

- Difusió de bones pràctiques per al manteniment dels pneumàtics.
- Difusió de mètodes de conducció eficient.

2. Mecanismes per reutilitzar:

- Difusió de processos orientats al recauchament.
- Difusió del mercat d'ocasió dels neumàtics de manera responsable.

3. Mecanismes per reciclar i altres mètodes de valorització:

- Triturament del neumàtic per utilitzar-lo com a font energètica en forns de cimenteres.
- Triturament i granulació per obtenir els components del pneumàtic de forma separada i poder crear nous productes d'aquests.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Actualment a Espanya hi ha diversos grups que es dediquen a la investigació de nous mètodes de reciclatge dels pneumàtics i que vigilen i regulen la seva gestió, entre aquests es troben TNU (Tratamiento Neumaticos Usados) i SIGNUS les dues entitats sense ànims de lucre, amb la finalitat de ser utilitzades com a mecanisme en el qual tots els fabricants e importadors que ho desitgin puguin complir les obligacions que imposa el Real Decreto 1619/2005.

Per decidir quin dels dos tractaments dins dels mecanismes per reciclar s'ha d'utilitzar s'executa una valoració energètica i una valoració material.

Si la valoració energètica surt més beneficiosa que la material el procediment que s'aplica és el de triturament dels pneumàtics, en fragments fins, aquest procediment es repeteix per aquells fragments que no superen la selecció inicial, basada en el tamany d'aquests, aquesta selecció però es revisa dos cops, un cop superades, els fragments es transporten a les cimenteres on es cremen. Depenent dels estàndards que tenen cada gestor de residus es fa una avaluació de la qualitat dels fragments obtinguts.

El poder calorífic del pneumàtic trossejat és aproximadament de 43 KJ/Kg, com es pot observar és superior al poder del carbó bituminós que té un poder calorífic de 35 KJ/Kg.

Si pel contrari el que surt més beneficiari és la valorització material, el procés que s'aplica és el de triturament del pneumàtic en fragments molt petits, després es passen els trossos per un seguit de premses en les quals es produeix la granulació del material triturat, a continuació, es passen per unes cintes amb uns separadors magnètics que separen l'acer de les altres substàncies.

Finalment s'apliquen un conjunt de processos d'aspiració i taules de separació densimètriques (equip que separa les partícules en funció de la seva densitat) on s'allibera la part tèxtil del cautxú granulat.

Amb aquest mètode s'obtenen tres materials dels pneumàtics: l'acer, el teixit tèxtil i el cautxú granulat. Aquests materials després s'utilitzen per crear altres productes elaborats, en el cas de SIGNUS el que fan és amb el cautxú creen xancles amb la marca ecològica.

Segons el grup TNU el 12,61% dels pneumàtics que els hi arriben els renoven per a tornar a reutilitzar. El 46,22% els utilitzen per a transformar-los en energia i el 41,17% els utilitzen per a recuperar els seus components i crear-ne d'altres totalment diferents.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 30 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

6.3 Estudi de substàncies o mètodes d'unió.

Un aglomerant és un material capaç d'unir fragments d'una o varies substàncies i donar cohesió al conjunt per mètodes físics.

El guix, la cal i el ciment son exemples d'aglomerants aplicats en la construcció, però en aquest cas el que interessa és un aglomerant més flexible que pugui servir per unir les fibres de pneumàtic i crear una capa de geotèxtil. Com ja s'ha comentat amb anterioritat el que interessa en un geotèxtil és la seva resistència a la tracció per mantindre el terra estable, i a més a més que tingui una alta durabilitat, és per aquest motiu que tot i que ha de ser altament resistent no pot ser fràgil, per tant es necessita que sigui una mica flexible tot i així s'ha de confirmar que no tingui una alta fluència, ja que es perdrien altres propietats.

El guix és un mineral compost per sulfat de calci dihidratat, és un dels materials més antics utilitzats en la construcció. Quan s'escalfa aquest perd l'aigua que té acumulada, després la reabsorbeix ràpidament endurent-se. El problema que tindria com a matriu d'unió de les fibres, és que és molt higroscòpic, això vol dir que absorbeix fàcilment la humitat i per tant perdria les seves propietats.

El ciment és un conglomerant hidràulic, és a dir, que s'endureix quan es mescla amb aigua, actualment és un dels materials de construcció més comunament coneguts i utilitzats, és utilitzat moltes vegades com a mètode d'unió entre roques sedimentàries, el gran defecte que tindria en l'aplicació per a la creació del geotèxtil és que té una gran resistència a la compressió però no té resistència a la tracció.

L'òxid de calci és un compost químic utilitzat en el procés de fabricació de ciment, el defecte més gran és que a causa de la seva gran reacció amb l'aigua, pot provocar irritacions severes i cremades si s'inhala o es posa en contacte amb la pell, tot i no ser inflamable, pot alliberar energia suficient per encendre materials combustibles. En el cas de voler crear un geotèxtil com a protector d'un pou d'una gasolinera no seria gens recomanable.

El cautxú és un polímer que s'extreu del làtex, un dels usos més comuns que se li dóna és el de component principal en la fabricació de pneumàtics, en aquest cas podria ser un bon aglomerant, ja que és flexible, el seu mòdul d'elasticitat es pot trobar de 0,01 a 0,1 GPa, i té propietats adhesives, cosa que afavoriria la unió, a més a més es podria aprofitar a partir del procés de granulació, és a dir, en comptes d'aplicar el últim pas que separa les fibres del cautxú, es podria deixar junt i únicament aplicar algun procés que les reforces i els tornes a unir, sense l'acer.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Les ceres s'obtenen de les molècules provinents de la reacció química que es produeix entre un àcid gras i un alcohol, la seva temperatura de fusió es troba per sobre dels 45°C, és una substància insoluble en aigua, l'ús més comú que se li ha donat és en la fabricació d'espelmes, i antigament per a segells, a més a més s'utilitzen molt per a la fabricació de motlles. Les ceres tenen unes molt bones propietats d'unió i són bastant viscoses, depenent del tractament poden arribar a ser bastant flexibles, tot i així no tenen una gran resistència a tracció. En cas d'aplicar-se però, en un geotèxtil amb la funció de protectors d'autopistes, s'ha de considerar que agafen altes temperatures per tant segurament no seria recomanable utilitzar aquesta combinació pel seu baix punt de fusió.

El midó és una macromolècula que representa la reserva energètica de la majoria de vegetals i la font de calories més important consumida per les persones, és per això que és imprescindible en els aliments des del punt de vista nutricional. És insoluble en aigua freda, però en aigua calenta, pateix una gelatinització, amb la que es genera una pasta, que pot combinar-se amb altres substàncies. A més a més de ser una substància molt important per a l'alimentació, té unes propietats molt interessants, sobretot com a adhesiu, s'utilitza també com a una alternativa biodegradable als envasos de poliestirè.

El làtex és una substància aquosa natural composta per una mescla de grasses, ceres i diverses resines gomoses, és el material més elàstic conegut, actualment s'utilitza en la indústria tèxtil, en material esportiu, en material escolar, pneumàtics, llits, i globus entre altres. Pot ser una bona substància en aquest camp, ja que proporcionaria al conjunt una flexibilitat apropiada, a més a més de què és un bon adhesiu.

La cola per empaperar és una substància adhesiva que pot mantenir units a dos o més cossos per contacte superficial. Es considera un adhesiu per evaporació o difusió, ja que es prepara com una solució en dissoldre's en solvents orgànics o en aigua, i s'apliquen sobre el lloc que es vol mantenir enganxat. Hi ha una preferència cap aquest tipus d'adhesius de base aquosa per la seguretat ambiental que representa el seu consum.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

6.4 Estudi de normatives.

Les normatives en el camp dels geotèxtils estan establertes en funció del camp d'aplicació d'aquests, per tant cada un ha de complir diversos aspectes per a la seva bona funcionalitat:

En el cas de voler utilitzar un geotèxtil aplicat a les carreteres i per tant tenir funció de separació, drenatge, filtració i protecció la normativa vigent és la UNE-EN 13249 Geotextiles y productos relacionados . Requisitos para su uso en la construcción de carreteras y otras zonas de tráfico (excluyendo las vías férreas y las capes de rodadura asfáltica).

En el cas de voler utilitzar un geotèxtil en un ferrocarril, amb la funció de filtració i separació, la normativa vigent és la UNE-EN 13250 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en Construcciones ferroviarias.

Si el que es vol és utilitzar el geotèxtil per controlar el moviment del terra, cimentacions i estructures de contenció la normativa vigent és la UNE-EN 13251 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención.

En canvi si s'utilitza el geotèxtil únicament en sistemes de drenatge la normativa vigent és la UNE-EN 13252 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en sistemas de drenaje.

Amb els geotèxtils si l'objectiu és utilitzar-lo en obres per a control d'erosió la norma europea que s'ha de seguir és la UNE-EN 13253 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en obras para el control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes).

Els geotèxtils si s'utilitzen en estancs i preses la normativa que han de complir és la UNE-EN 1354 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de embalses y presas.

Si tot i així l'objectiu del geotèxtil és ser utilitzat en la construcció de canals la normativa europea vigent que ha de complir és la UNE-EN 13255 + A1:2015 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de canales.

En el cas de què es vulgui utilitzar el geotèxtil en túnels i estructures subterrànies per a la seva funció de protecció i drenatge de fluids la normativa que ha de complir és la UNE-EN 13256 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de túneles y estructuras subterráneas.

En canvi si es vol utilitzar pel control d'abocadors de residus sòlids per la seva funció de protecció, drenatge i reforç, la normativa vigent és la UNE-EN 13257 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en los vertederos de residuos sólidos.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 33 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

Finalment si l'objectiu és utilitzar-lo per a contenidor de residus líquids, la normativa europea vigent actualment és la UNE-EN 13265 + A1:2015 Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en proyectos de contenedores de residuos líquidos.

En cada una d'aquestes normatives respectivament, s'especifiquen les característiques corresponents que ha de complir el geotèxtil, els mètodes d'assaig apropiat per determinar-les, i permeten avaluar i verificar la constància de les prestacions del producte i els procediments de control de la producció en fàbrica.

Les normatives centrades en la producció de les fibres reciclades dels pneumàtics venen donades principalment pel Real Decreto 1619/2005 sobre la gestió de pneumàtics fora d'ús. Tal com s'ha esmentat amb anterioritat, aquest decret estableix l'obligació d'elaborar plans de prevenció, que identifiquin els mecanismes de fabricació, per a facilitar la reutilització i el reciclatge d'aquests pneumàtics, al final de la seva vida útil. El seu objectiu principal però, no és tant el de com crear les fibres de pneumàtics, sinó que esta centrada més en prevenir la generació de pneumàtics fora d'ús, establir el règim jurídic de la seva producció i gestió i fomentar, en aquest ordre, la seva reducció, reutilització, reciclatge i altres formes de valorització, amb la finalitat de protegir el medi ambient. Tot i això, l'obtenció de les fibres ha de passar un seguit de controls de qualitat establerts per la mateixa empresa que els genera.

Tornant amb els geotèxtils s'han considerat oportunes aprofundir en les normatives centrades en les aplicacions de protecció, que tenen la funció de filtrar, separar i reforçar. Els geotèxtils que han d'assolir aquestes funcions han de passar un seguit d'assajos, per a què el client en qüestió, pugui saber quines són les característiques del geotèxtil que vol adquirir, aquestes característiques són:

- Quina resistència a la tracció té el geotèxtil.
- Quin és l'allargament a càrrega màxima que pateix.
- Quina és la seva resistència a la perforació dinàmica.
- Quina és l'eficiència de protecció que té.
- La seva durabilitat.
- Quina és la seva permeabilitat a l'aigua perpendicular al pla.
- Quina resistència al punxonament estàtic suporta.
- Quina és la seva mesura d'obertura característica.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 34 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

S'ha de considerar que cada assaig de cada característica ha de seguir la seva pròpia normativa.

- Resistència a la tracció i allargament a la càrrega màxima UNE-EN ISO 10319:2015 Geosintéticos Ensayo de tracción de bandas anchas.
- Resistència a la perforació dinàmica UNE-EN ISO 13433:2006 Geosintéticos Ensayo de perforación dinámica.
- Eficiència de protecció UNE-EN 14574:2007 Geosintéticos. Determinación de la resistencia al punzonado piramidal de los geosintético ssoportados.
- Durabilitat Annex B de la normativa d'aplicació del geotèxtil, en totes però remarca que s'han de sotmetre a un assaig d'envelliment accelerat seguint la norma UNE-EN 12224 excepte si es protegeix el producte el mateix dia de la seva instal·lació.
- Permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla UNE-EN ISO 11058 Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Determinación de las características de permeabilidad al agua perpendicularment al plano sin carga.
- Punxonament estàtic UNE-EN ISO 12236 Geosintéticos. Ensayo de punzonado estático.
- Mesura d'obertura característica UNE-EN ISO 12956 Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Determinación de la medida de abertura característica.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7 Provetes.

7.1 Creació de provetes.

A partir de l'estudi de les fibres reciclades dels pneumàtics i de l'estudi de substàncies o mètodes d'unió s'ha elaborat una taula de valor ponderat per escollir quin tipus de provetes es realitzaran.

La taula de valor ponderat tindrà en compte disponibilitat (25%), preparació (25%) i aplicació en la producció (50%).

	Ponderació (g)	Guix		Ciment		Cal		Cautxú		Ceres		Mido		Làtex		Cola	
		P	P·g	P	P·g	P	P·g	P	P·g	P	P·g	P	P·g	P	P·g	P	P·g
Disponibilitat	0.25	7	1.75	6	1.5	6	1.5	6	1.5	9	2.25	9	2.25	7	1.75	9	2.25
Preparació	0.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	6	1.5	8	2	6	1.5	6	1.5	7	1.75
Aplicació en la producció	0.5	5	2.5	5	2.5	5	2.5	9	4.5	5	2.5	4	2	6	3	5	2.5
$\sum_{i=1}^n P_i \cdot g_i$		5.5		5.25		5.25		6.75		6.75		5.75		6.25		6.5	
Nota		5.5		5.25		5.25		6.75		6.75		5.75		6.25		6.5	

Taula 5. Taula de valor ponderat per escollir el tipus de provetes.

A partir dels resultats obtinguts a la taula anterior s'ha escollit elaborar tres provetes a partir de les tres millors substàncies avaluades, aquestes substàncies són el cautxú, les ceres i la cola d'empaperar.

En altres treballs s'ha comprovat que les fibres de pneumàtic tenen certes propietats molt importants a l'hora de tractar-les per elaborar les provetes, aquestes propietats són:

- Són hidròfugues, és a dir, repel·leixen l'aigua.
- No són ignífugues tot i que sí que mantenen les seves propietats a temperatures de fins 200°C.

En algun cas és necessari la mescla de les fibres en aigua per tal d'obtenir una mescla homogènia, és per aquest motiu, que per ser hidròfugues les fibres necessitaran que la mescla es realitzi amb algun aparell a altes revolucions, ja que manualment no s'obtindria el mateix resultat en termes de viabilitat.

**Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics****7.1.1 Material necessari per a la realització de les provetes.**

En la següent taula es mostra una llista del material necessari per a la realització de les provetes amb les seves especificacions i els motius pels quals són necessaris.





Material	Especificacions	Justificació
Llisto de fusta 1 unitat	45mm x 28mm x 2400mm.	Marc motlle on s'elaboraran les provetes.
Llisto de fusta 2 unitats	10mm x 10mm x 1000mm.	Reforçar la base del motlle.
Esquadres 8 unitats	Angle de 90° i un forat en cada punta.	Uniran les fustes del marc del motlle a cada cantonada.
Fibres de pneumàtics	Obtingudes a partir del reciclatge de pneumàtics.	Element basic de cada proveta.
Cola d'empaperar	Soluble en aigua, es a dir en forma de pols.	Aglomerant, que permet unir les fibres.
Cera de depilació	Estat sòlid que al escalfar-se es torni viscos	Aglomerant, que permet unir les fibres.
Cautxú GTR de cotxe	Estat sòlid en pols obtingut a partir del reciclatge de pneumàtics.	Aglomerant, que permet unir les fibres.
Malla metàl·lica	400mm x 500mm.	Actuar de filtre per a poder alliberar l'aigua de les mescles.
Cartró	400mm x 400mm.	Actuar de base per a certs motlles.
Cargols 16 unitats	De llargada inferior a 40mm.	Unir les esquadres a les fustes dels marcs.
Fil	Diàmetre 1mm.	Reforç de les mescles.
Grapes i cola fixadora	Les grapes han de poder travessar i fixar-se en la fusta i la cola ha de ser molt potent.	Ajudar a fixar el cartró i la malla metàl·lica al seu respectiu motlle.
Paper de forn	Paper especial per cuinar al forn antiadherent.	Protegeix la safata metàl·lica de la mescla i facilita la separació.

Taula 6. Llista de material.







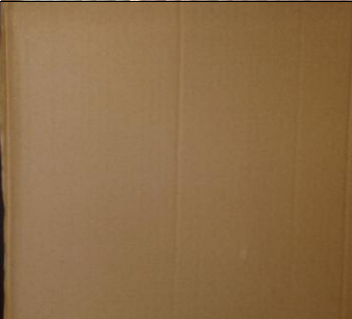
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

A continuació es mostra una imatge de cada un dels materials de la taula anterior.

Llisto de fusta 1 unitat	
Llisto de fusta 2 unitats	
Esquadres 8 unitats	
Fibres de pneumàtics	







Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Cola d'empaperar		
Cera de depilació		
Cautxú GTR de cotxe		
Malla metàl·lica		
Cartró		



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Cargols 16 unitats			
Fil			
Grapes i cola fixadora			
Paper de forn			

Taula 7. Imatge de cada un dels materials descrits en la taula anterior.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 40 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

7.1.2 Elaboració dels motlles.

A partir dels motlles s'obtenen les provetes amb la geometria desitjada, en aquest cas la geometria desitjada és d'un mínim d'una proveta de 200mm x 200mm.

S'ha decidit elaborar dos motlles, el primer serà de 300mm x 300mm i estarà centrat en l'elaboració de les provetes de fibres amb cola d'empaperar. En canvi el segon motlle tindrà una geometria de 200mm x 200mm i estarà centrat en l'elaboració de les provetes de fibres amb cera. Aquesta diferència és deguda a què a una major superfície la proveta de fibres amb cola pot evacuar amb més facilitat l'aigua que porti.

Un dels majors requisits dels motlles és que siguin reutilitzables i per aquest motiu s'ha de vigilar el tracte que es té de les mostres, intentant evitar qualsevol dany, tant a les provetes com al motlle.

Per a obtindre els motlles, s'han seguit els següents passos.

En el cas del motlle de 300mm x 300mm primer s'ha decidit fer que cada cantonada tingui un angle de 45° per així poder unir les cantonades, el llistó de fusta que s'utilitzarà per elaborar el marc és el de 45mm x 28mm x 2400mm, un cop s'ha tallat la primera punta del llistó en un angle de 45° s'ha mesurat una llargada de 300mm considerant quina serà la part interior del marc, aquest procés s'ha repetit quatre cops. Un cop es tenen les fustes tallades, s'uneixen per les cantonades intentant que coincideixin els angles de 45° obtenint un quadrat, les cantonades interiors dels marcs és col·loquen les esquadres metàl·liques i es fixen amb els cargols, d'aquesta forma si el quadrat no acaba de coincidir per culpa d'algun defecte a l'hora de tallar les fustes, les esquadres de 90° ho corregeixen. A continuació es retalla la malla metàl·lica en un quadrat de 325mm x 325mm i es fixa al marc de fusta amb cola i grapes. Finalment per reforçar la malla que és una mica flexible es tallen dos llistons de fusta amb una longitud de 350mm, en aquest cas el llistó de fusta que es tallarà és el de 10mm x 10mm x 1000mm, es fixaran amb cola al marc de fusta paral·lelament entre ells i a 50mm respectivament dels laterals del marc.

En el cas del motlle de 200mm x 200mm per evitar els defectes d'unió de les cantonades de 45° del anterior motlle s'ha decidit tallar les fustes amb una longitud de 245mm de llarg de tal forma que els 45mm restants s'ocupin per l'amplada del llistó que és de 45mm, un cop col·locats s'introdueixen les esquadres metàl·liques a l'interior per fixar el marc. En aquest cas s'utilitza la fusta restant del llistó de 45mm x 28mm x 2400mm. Finalment es retalla un quadrat de cartó a 300mm x 300mm i es fixa al marc en un costat amb grapes.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En les següents figures es poden apreciar els dos motlles obtinguts.



Figura 11. Motlle de 300mm x 300mm sense filtre.



Figura 12. Motlle de 300mm x 300mm amb la malla metàl·lica fent de filtre.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics



Figura 13. Motlle de 200mm x 200mm sense el cartró.

 Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 43 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

7.1.3 Elaboració de les provetes.

Per a la realització de l'estudi s'han elaborat un total de set provetes per a poder comprovar si és viable obtenir un geotèxtil amb les fibres de pneumàtics i amb quines proporcions de fibres i aglutinants s'obtenen unes millors propietats.

Tres de les set provetes estan compostes amb fibres i cera de depilar que actua d'aglutinant, s'ha escollit aquest tipus de cera per la seva propietat de desfer-se amb l'ajuda d'un simple microones i la capacitat d'adherir-se amb facilitat amb qualsevol substància que estigui en contacte en refredar-se.

Dos de quatre provetes restants estan compostes de fibres i cola d'empaperar que actua d'aglutinant, s'ha escollit aquest tipus de cola per la seva capacitat d'unir les fibres, fet que es va comprovar en anteriors estudis, aquesta cola es pot obtenir en forma de pols i és necessari la mescla d'aigua per obtenir una cola fluida, en principi suposaria una dificultat a l'hora d'elaborar les provetes, ja que les fibres són hidròfugues tot i així els resultats del altre estudi són prometedors i per tant es vol comprovar quin pot ser l'efecte si es vol aplicar la combinació per a tenir una funció de geotèxtil.

Finalment les dues provetes restants estan compostes de fibres de pneumàtic sense passar la fase de separació de cautxú i fibres, a més a més s'introdueix més cautxú (obtingut d'unes altres fibres reciclades i separades) que actua d'aglutinant, s'ha escollit aquesta combinació, ja que si el resultat és prometedor significaria un estalvi energètic provinent de la fase de separació de fibres i cautxú, necessitant únicament retirar els filaments d'acer.

Per iniciar el procés d'elaboració de provetes és necessari un pas previ, aquest pas consisteix principalment en valorar quin és l'estat en el qual volem que les fibres conformin la proveta. Com ja s'ha comentat amb anterioritat en el procés d'obtenció de les fibres de pneumàtic aquestes passen un seguit de tractaments per poder separar-les del cautxú i dels filaments d'acer, tot i així tal com es pot observar en la *Figura 14*, les fibres proporcionades tenen un grau d'impureses bastant elevat, és per aquest motiu que és necessari aplicar un tractament d'inspecció i neteja per poder obtindre les fibres "netes".



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics



Figura 14. Fibres de pneumàtic sense netejar.

El procés de neteja es pot separar en dos subprocessos:

1. Eliminació de les fibres d'acer.
2. Eliminació de les restes de cautxú i d'altres elements.

Per poder efectuar el subprocés d'eliminació de les fibres d'acer, s'ha utilitzat un imant, en aquest cas gràcies a l'atracció magnètica de l'imat, apropant les fibres a aquest, els fragments d'acer que es trobaven atrapats en les fibres s'unien a aquest, facilitant d'aquesta forma la separació manual dels filaments d'acer de les fibres. Aquest mètode és un mètode bastant ràpid i fàcil d'aplicar i les pèrdues de fibres de pneumàtic són pràcticament nul·les.

En canvi per poder efectuar el subprocés d'eliminació de les restes de cautxú i d'altres elements que es troben enredats entre les fibres, no s'ha aplicat l'ajuda de cap eina, això és degut a que els fragments són d'una mida molt reduïda i que es troben fortament atrapats, és per aquest motiu que per separar-los el mètode aplicat és totalment manual, aquest fet afecta en gran mesura la velocitat en el que s'obtenen les fibres totalment netes, ja que és un procés molt lent i a més a més provoca la pèrdua de moltes fibres de pneumàtic que si es volen recuperar en la seva totalitat necessitarien un procés més acurat i per tant més lent.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 45 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

El resultat final de les fibres obtingudes es pot apreciar en la *Figura 15*.



Figura 15. Fibres de pneumàtic després de ser netejades.

Com es pot observar clarament el producte final obtingut és molt millor que l'inicial, obtenint les fibres amb la qualitat desitjada per a les nostres provetes.

En el cas de les provetes de cera i cola aquest dos subprocessos són totalment necessaris, en canvi en el cas de les provetes de cautxú únicament s'aplicarà el primer subprocés, ja que el que es busca és aprofitar també els fragments de cautxú atrapats en les fibres.

Un cop obtingudes les fibres amb les condicions desitjades ja es pot procedir a l'elaboració de les provetes.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.1 Proveta 1 Cera.

En aquest cas els materials utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 25g de Fibres de pneumàtic.
- 200g de Cera de depilar.

En la *Figura 16* es pot observar la proveta 1 Cera.



Figura 16. Proveta 1 Cera.

Per obtenir la proveta 1 Cera s'utilitza el motlle de 200mm x 200mm a més a més al llarg de tot el motlle amb una separació de 50mm respectivament és col·loquen unes tires de cordill per a què es fusionin a la mostra amb la intenció de comprovar si gràcies als fils la mostra amb la cera obtingui propietats més resistents i elàstiques. Per fixar el cordill al motlle cada extrem s'enganxa al marc amb cel·lo.

Un cop es té el motlle preparat, s'escalfa la cera seguin les instruccions proporcionades pel proveïdor de la cera, en aquest cas consisteix en escalfar-la al microones durant 5 minuts i anar barrejant la cera per evitar la generació de grumolls, un cop s'obté la cera totalment líquida es procedeix a col·locar les fibres a l'interior del motlle, sobre els cordills, i es llença la cera calenta, en el moment en què es llença la quantitat desitjada, es barreja la cera amb les fibres, en aquest cas es va optar per fer la mescla manualment.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Un cop ja esta tota la mescla ben homogeneïtzada es deixa reposar fins que es refredi, aquest procés no tarda més de 10 minuts en realitzar-se.

Finalment per retirar la mostra del motlle primer es retallen els cordills que estan enganxats al marc del motlle, un cop tots els cordills estan retallats amb molt de compte es separa a poc a poc la mostra del cartó que fa de base del motlle, obtenint finalment la mostra desitjada.

La mostra final té un pes de 200g això és degut a que durant el procés s'han perdut restes de cera. En termes de proporció la proveta presenta:

- 12.5% fibres de pneumàtic.
- 87.5% cera de depilar.

Les dimensions són:

- 180mm x 155mm.
- 10mm gruix.

Tot i utilitzar el motlle la proveta no presenta la forma desitjada inicialment, això és degut a que al realitzar la mescla de fibres i cera no s'ha pogut realitzar una repartició homogènia en tot el motlle sinó que s'ha concentrat la mescla al centre d'aquesta fent la mostra més gruixuda, aquest fet ha estat provocat per diversos motius:

1. La cera en el moment en el qual es posava en contacte amb les fibres començava a patir un procés de refredament més accelerat del qual s'esperava endurint-se més ràpidament del que es podia realitzar la mescla, dificultant la repartició en tot el motlle.
2. La cera presenta unes propietats d'adherència més fortes de les esperades provocant que el mètode de mescla manual fos més lent i complicat.

Tot i no superar l'anàlisi visual sí que supera l'anàlisi estructural, les fibres han quedat ben unides i resisteixen les forces de tracció aplicades manualment, a més a més de presentar una certa flexibilitat.

Modificacions per millorar la proveta:

- Buscar un nou mètode per aconseguir augmentar el temps de fluïdesa de la cera.
- Buscar un nou mètode per repartir les fibres i les mescles a tot el motlle.
- Canviar la concentració de fibres per millorar la repartició de la mostra.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.2 Proveta 2 Cera.

En aquest cas els materials utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 30g de Fibres de pneumàtic.
- 200g de Cera de depilar.

En la *Figura 17* es pot observar la proveta 2 Cera.

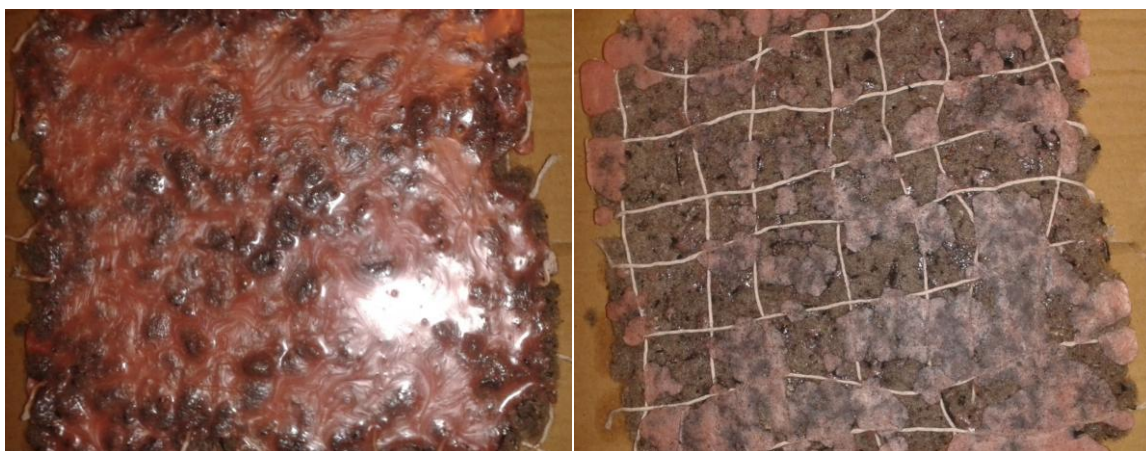


Figura 17. Proveta 2 Cera pel davant i pel darrere.

Per obtenir la proveta 2 Cera s'utilitza el motlle de 200mm x 200mm a més a més al llarg de tot el motlle amb una separació de 50mm respectivament es tornen a col·locar les tires de cordill per a què es fusionin a la mostra. Per fixar el cordill al motlle cada extrem es torna a enganxa al marc amb cel·lo.

Un cop es té el motlle preparat, s'escalfa la cera seguin les instruccions proporcionades pel proveïdor de la cera, en aquest cas consisteix en escalfar-la al microones durant 5 minuts i anar barrejant la cera per evitar la generació de grumolls, un cop s'obté la cera totalment líquida, per tal d'evitar el defecte de la proveta anterior on la cera es refredava massa ràpidament s'ha optat per escalfar una olla petita amb aigua dins, s'introdueix el recipient ple de cera dins de l'aigua bullint de tal forma que l'aigua no entri en contacte amb la cera, d'aquesta forma es manté la cera a una temperatura constant creant un bany maria, evitant així, que es refredi com en el cas anterior. Un cop es tingui la cera en el bany maria es procedeix a col·locar les fibres a l'interior del motlle, sobre els cordells, repartint les fibres en tot el motlle de tal forma que ocupin tota la superfície.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Per tal d'evitar el problema que es va observar en el cas anterior, amb la mescla manual, s'ha optat per crear la proveta per mitjà d'una mescla per capes en comptes de barrejar-les manualment.

Aquest procediment consisteix en què un cop es tenen les fibres repartides en tot el motlle formant una capa base, es reparteix la cera calenta per la seva superfície en forma de capa, de tal forma que aquesta es coli pels porus que hi ha en la capa constituïda per les fibres.

Un cop s'ha repartit part de la cera obtenint la capa superior es deixa reposar fins que es refredi, aquest procés no tarda més de 10 minuts en realitzar-se.

A continuació es gira la mostra, per fer-ho es tallen els cordills del marc del motlle i s'extreu la mostra amb molt de compte, aquesta no presenta molta resistència.

Finalment es repeteix el procediment de repartició de la cera restant per l'altre costat de la capa de fibres inicials.

Un cop la cera s'ha refredat (no dura més de 10 minuts) es retira la mostra del motlle, amb molt de compte, en aquest cas els cordills ja estaran tallats de tal forma que es poden utilitzar com a punt d'ajuda per a extreure la mostra amb compte de no danyar-la.

La mostra final té un pes de 205g això és degut a que durant el procés s'han perdut restes de cera i que en alguns extrems la fibra no ha quedat del tot cohesionada. En termes de proporció la proveta presenta:

- 14.15% fibres de pneumàtic.
- 85.85% cera de depilar.

Les dimensions són:

- 200mm x 200mm.
- 5mm gruix.

Aquest cop la proveta obtinguda sí que presenta les dimensions desitjada inicialment, això indica que per obtenir una geometria concreta aquest mètode és útil i funcional.

Tot i superar l'anàlisi visual en l'anàlisi estructural, les fibres han quedat ben unides, en les parts en el que la cera ha penetrat fortament, però no en els extrems d'aquesta on les fibres més exteriors perden una mica de cohesió, tot i això en general la proveta resisteix les forces de tracció aplicades manualment, i a més a més presentar una major flexibilitat que la proveta anterior segurament provocat pel seu menor gruix.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 50 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

Modificacions per millorar la proveta:

- Buscar un nou mètode barrejar les fibres i la cera i repartir-ho en el motlle per obtenir una mostra de les característiques de la proveta 1 Cera i unes dimensions de la proveta 2 Cera.
- Canviar la concentració de fibres per millorar les característiques de la mostra.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.3 Proveta 3 Cera.

En aquest cas els materials utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 35g de Fibres de pneumàtic.
- 250g de Cera de depilar.

En la *Figura 18* es pot observar la proveta 3 Cera.



Figura 18. Proveta 3 Cera.

Per obtenir la proveta 3 Cera no s'utilitza cap motlle, en aquest cas veient la poca efectivitat per obtenir una bona mescla homogènia de cera i fibres i obtenir una capa fina i flexible s'ha optat per aplicar un nou mètode.

Com en els anteriors casos primer s'escalfa la cera seguint les instruccions proporcionades pel proveïdor de la cera, tal com s'ha explicat amb anterioritat s'escalfa la cera al microones durant 5 minuts barrejant la cera per evitar la generació de grumolls, un cop es té la cera totalment líquida, per tal d'evitar que es solidifiqui com en la primera proveta es torna a aplicar el mètode de l'anterior prova, és a dir, s'aplica un bany maria per mantenir la cera calenta, el bany es torna a realitzar gràcies a una olla petita amb aigua bullint dins, on es banya el recipient de la cera de tal forma que l'aigua no entri dins del pot.

Per evitar el problema del cas anterior en el qual la cera no acabava de repartir-se homogèniament aquest cop s'ha optat per aplicar una combinació de mètodes entre el primer aplicat i el segon, és a dir,

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 52 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

un cop es té la cera calenta dins del bany maria, s'introdueixen les fibres i a la vegada es mescla tot de tal forma que quedi una pasta produïda per la combinació de cera i fibres.

Durant l'estona en el que la cera és calenta en el microones es prepara la superfície en la qual és col·locarà la mescla de fibres i cera, aquesta consisteix en una safata metàl·lica amb un paper de forn com a protector, la superfície s'ha d'escalfar al forn durant 10 minuts a mitja potència de tal forma que quedi escalfat.

Un cop es té la mescla homogènia de fibres i cera i la safata estigui calenta, es diposita amb molta rapidesa tota la mescla sobre la superfície calenta i amb un tros de cartó de dimensions 300mm x 300mm, es fa pressió a la mescla dipositada, aplanant-la el màxim possible.

Al cap de 15 minuts la mescla s'ha endurit i es procedeix a separar-la del cartó i del paper de forn, aquest procediment és el més delicat, ja que la mescla és molt fina i es troba fortament unida.

La proveta s'ha de guardar en algun lloc on no li toqui la radiació solar directament, ja que pot patir modificacions per l'escalfor. En aquest cas els efectes es poden observar en un extrem de la proveta en la *Figura 18*.

La mostra final té un pes de 260g això és degut a que durant el procés s'han perdut restes de cera que no s'han pogut extreure del pot de mescla. En termes de proporció la proveta presenta:

- 13.46% fibres de pneumàtic.
- 86.54% cera de depilar.

Les dimensions són:

- 290mm x 250mm.
- 3mm gruix.

En aquest cas la proveta obtinguda no presenta les dimensions desitjades, ja que tampoc s'ha intentat delimitar la seva expansió en aplicar la pressió per aplanar-la. Per poder-li donar una geometria concreta s'hauria de dissenyar algun motlle compatible amb el mètode de producció.

Tot i així l'anàlisi estructural és positiu, ja que la combinació de cera i fibres ha quedat homogènia i fortament unida, el poc gruix que presenta la mostra li atribueix una certa flexibilitat i resisteix les forces de tracció aplicades manualment.

Modificacions per millorar la proveta:

- Canviar la concentració de fibres per millorar les característiques de la mostra.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 53 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

7.1.3.4 Proveta 1 Cola.

En aquest cas els elements utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 45g de Fibres de pneumàtic.
- 15g de Cola d'empaperar.
- 3 litres d'aigua.

En la *Figura 19* es pot observar la proveta 1 Cola.



Figura 19. Proveta 1 Cola.

Per obtindre la proveta 1 Cola s'utilitza el motlle de 300mm x 300mm.

Un cop es té el motlle preparat, és necessari aplicar algun mètode per homogeneïtzar les fibres, per aconseguir-ho s'ha decidit submergir les fibres en aigua, aquest procediment s'ha realitzat col·locant en un recipient les fibres de pneumàtic en 1 litre d'aigua, un cop introduïdes es pot observar com les fibres floten sobre l'aigua demostrant la característica anteriorment esmentada de què les fibres són hidròfugues, per tal d'homogeneïtzar-les s'ha utilitzat un mecanisme per tal de barrejar les fibres amb l'aigua energèticament.

Un cop es té les fibres ben homogeneïtzades i humides es passen pel motlle on és col·la per la malla metàl·lica l'aigua sobrant, en aquest procés a més a més d'homogeneïtzar les fibres les ha rentat de restes petites de cautxú.

Per preparar la cola d'empaperar, es segueixen les instruccions proporcionades pel proveïdor, en aquest cas al ser cola en pols s'ha decidit introduir en un altre recipient la cola d'empaperar amb 2 litres d'aigua i s'ha barrejat per tal d'evitar la generació de grumolls, finalment s'ha deixat reposar la mescla de cola i aigua 25 min.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Passat els 25 min i després de col·lar les fibres, s'introdueixen les fibres dins de la mescla de cola i aigua, aquest cop es barreja manualment les fibres i la mescla. Finalment es fa passar la mescla final pel motlle on es tornen a col·lar les fibres, un cop alliberades les fibres dels excedents de cola i aigua, es reparteix el conjunt dins del motlle per tal d'obtenir la forma desitjada, i es deixa assecar dins d'aquest.

El motlle s'ha decidit col·locar-lo a prop d'una finestra on a les hores diürnes li pugui donar el sol, accelerant el procés d'assecat, el temps total que necessita la mostra per ser extreta del motlle, totalment seca, és de 120h, passat aquest temps la proveta es trobava en un estat ideal per ser extreta del motlle sense cap dificultat, tot i així sempre amb precaució.

La mostra final té un pes de 50g això és degut a que durant el procés s'han col·lat la part de la cola que les fibres no han pogut absorbir en el procés d'homogeneïtzació. En termes de proporció la proveta presenta:

- 90% fibres de pneumàtic.
- 10% cola d'empaperar.

Les dimensions són:

- 230mm x 180mm.
- 7mm gruix.

La proveta obtinguda sí que presenta les dimensions desitjada inicialment, això indica que per obtenir una geometria concreta aquest mètode és útil i funcional.

En aquest cas la proveta supera l'anàlisi visual i estructural, les fibres han quedat ben unides, presenten una flexibilitat considerable i suporta les forces de tracció aplicades manualment, tot i així es poden observar com en certs punts les fibres no han quedat ben repartides mostrant alguns forats.

Modificacions per millorar la proveta:

- Tenir més cura al repartir les fibres pel motlle evitant generar porus massa grans.
- Canviar la concentració de cola per millorar les característiques de la mostra.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.5 Proveta 2 Cola.

En aquest cas els elements utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 50g de Fibres de pneumàtic.
- 30g de Cola d'empaperar.
- 3 litres d'aigua.

En la *Figura 20* es pot observar la proveta 2 Cola.



Figura 20. Proveta 2 Cola.

Per obtenir la proveta 2 Cola s'utilitza el motlle de 300mm x 300mm.

Un cop es té el motlle preparat, és necessari tornar a aplicar algun mètode per homogeneïtzar les fibres, per aconseguir-ho s'ha seguit el mateix procediment que en el cas anterior, s'han col·locat en un recipient les fibres de pneumàtic en 1 litre d'aigua, per tal d'homogeneïtzar-les s'ha tornat a utilitzar el mecanisme per tal de barrejar les fibres amb l'aigua energèticament.

Un cop es tenen les fibres ben homogeneïtzades i humides com en el cas anterior es filtren pel motlle.

Per preparar la cola d'empaperar, es torna a seguir les instruccions proporcionades pel proveïdor, s'introdueix en un altre recipient la cola d'empaperar amb 2 litres d'aigua i es barreja per tal d'evitar la generació de grumolls, finalment és deixar reposar la mescla de cola i aigua 25 min.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Passat els 25 min i després de filtrar les fibres, s'introdueixen les fibres dins de la mescla de cola i aigua, i es barreja manualment. Finalment es fa passar la mescla final pel motlle col·lant les fibres, un cop filtrades dels excedents de cola i aigua, es reparteix el conjunt dins del motlle per tal d'obtenir la forma desitjada, i es deixa assecar dins d'aquest, aquest cop vigilant amb més precisió que no quedin les fibres mal repartides.

Com en el cas anterior s'ha decidit col·locar el motlle a prop d'una finestra on a les hores diürnes li pugui donar el sol, accelerant el procés d'assecat, el temps total que necessita la mostra per ser extreta del motlle, totalment seca, és de 96h, passat aquest temps la proveta es trobava en un estat ideal per ser extreta del motlle sense cap dificultat, tot i així sempre amb precaució, finalment es dona la volta i es deixa assecar unes 24h més.

La mostra final té un pes de 55g això és degut a que durant el procés s'han col·lat la part de la cola que les fibres no han pogut absorbir en el procés d'homogeneïtzació. En termes de proporció la proveta presenta:

- 91% fibres de pneumàtic.
- 9% cola d'empaperar.

Les dimensions són:

- 200mm x 225mm.
- 5mm gruix.

La proveta obtinguda sí que presenta les dimensions desitjada inicialment, això indica que per obtenir una geometria concreta aquest mètode és útil i funcional.

En aquest cas la proveta supera l'anàlisi visual i estructural, les fibres han quedat ben unides, presenten una flexibilitat considerable i suporta les forces de tracció aplicades manualment.

Modificacions per millorar la proveta:

- Tenir més cura en repartir les fibres pel motlle evitant generar porus massa grans.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.6 Proveta 1 Cautxú.

En aquest cas els materials utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 6.5g de Fibres de pneumàtic sense treure les impureses a excepció de l'acer.
- 30g de Cautxú de cotxe.

En la *Figura 21* es pot observar la proveta 1 Cautxú.



Figura 21. Proveta 1 Cautxú.

Per obtenir la proveta 1 Cautxú s'utilitza un motlle de 200mm x 200mm que és l'estàndard, la quantitat de fibres i de cautxú s'ha decidit per efecte del volum que poden cabre en el motlle, en el cas d'utilitzar únicament cautxú l'estàndard utilitzat és de 120g.

Per barrejar el cautxú que es vol barrejar amb les fibres es passen les dues substàncies per dues calandres, *Figura 22*, els dos rotllos estan escalfats a 180°C i el procés per obtenir les fibres mínimament mesclades tarda 2h fent passar en tot aquest temps les fibres i el cautxú per les calandres, això és degut a que el cautxú és molt fi i li costa agafar-se a les fibres, tot i així els fragments de cautxú que ja es trobaven en les fibres inicials que tenen una mesura considerable en comparació amb les que s'afegeixen sí que han fluid i s'han unit fortament amb les fibres que es trobaven al seu voltant.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics



Figura 22. Calandres on es mescla el cautxú amb les fibres.

Un cop s'han obtingut les fibres que es poden observar en la *Figura 23*, s'introdueix en el motlle comentat anteriorment. Aquest motlle metàl·lic està compost per dues plaques metàl·liques que cobreixen les dues parts del motlle i en mig es troba un marc metàl·lic que conté la substància a comprimir.



Figura 23. Resultat d'utilitzar les calandres per mesclar les fibres amb el cautxú.

Finalment un cop s'ha tancat el motlle s'introdueix a l'interior de la premsa de plats calents, *Figura 24*, els plats es troben a una temperatura de 120°C i exerceixen una pressió de 220bar és a dir 22000000 Pa.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics



Figura 24. Premsa de plats calents.

El temps en el qual el motlle es trobarà a l'interior de la premsa és de 10 min.

Finalment s'extreu el motlle de la premsa de plats calents, amb un guant especial per aguantar temperatures elevades, i es trasllada a l'aixeta d'aigua on es refredarà ràpidament el motlle, un cop les plaques metàl·liques ja es troben a temperatura ambient es desemmotlla i s'obté el producte final.

La mostra final té un pes de 30g això és degut a que durant el procés s'han perdut restes de cautxú. En termes de proporció la proveta presenta:

- 21.67% fibres de pneumàtic.
- 78.33% cautxú de cotxe.

Les dimensions són:

- 180mm x 110mm.
- 1mm gruix.

Tot i utilitzar el motlle la proveta no presenta la forma desitjada inicialment, això és degut a que les partícules de cautxú no han cohesionat les fibres tal com s'esperava, proporcionant una mostra fràgil que es desfà amb facilitat, el que sí que ha proporcionat una cohesió forta amb les fibres són les parts on hi havia una forta presència de cautxú provinent de les fibres inicials.

La mostra no superar l'anàlisi visual ni l'anàlisi estructural, les fibres han quedat mal unides i resisteixen molt poc les forces de tracció aplicades manualment, tot i així presenten una certa flexibilitat.

Modificacions per millorar la proveta:

- Canviar la concentració de cautxú per millorar les propietats de la mostra.
- Augmentar el temps de manteniment dins de la premsa de plats calents.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.1.3.7 Proveta 2 Cautxú.

En aquest cas els materials utilitzats per a l'elaboració de la proveta són:

- 30g de Fibres de pneumàtic sense treure les impureses a excepció de l'acer i agafades de les restes de netejar les fibres per a les altres provetes.
- 15g de Cautxú de cotxe.

En la *Figura 25* es pot observar la proveta 2 Cautxú.

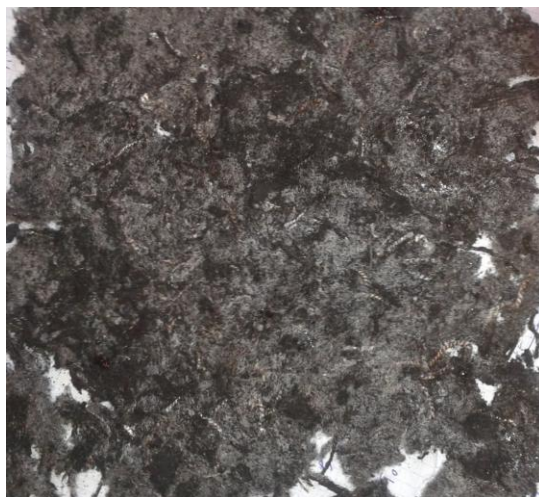


Figura 25. Proveta 2 Cautxú.

Per obtindre la proveta 2 Cautxú s'utilitza el mateix motlle de la proveta anterior de 200mm x 200mm que és l'estàndard.

S'aplicarà el mateix procediment de barreja de les fibres que en el cas anterior.

Un cop s'han obtingut les fibres, s'introdueix en el motlle comentat anteriorment.

Finalment un cop s'ha tancat el motlle s'introdueix a l'interior de la premsa de plats calents, els plats es troben a una temperatura de 120°C i exerceixen una pressió de 220bar és a dir 22000000 Pa.

El temps en el qual el motlle es trobarà a l'interior de la premsa és de 20 min.

Finalment s'extreu el motlle de la premsa de plats calents, amb un guant especial per aguantar temperatures elevades, i es trasllada a l'aixeta d'aigua on es refredarà ràpidament el motlle, un cop les plaques metàl·liques ja es troben a temperatura ambient es desemmotlla i s'obté el producte final.

 Secció Terrassa	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
			Pàg.: 61 de 113
			Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics			

La mostra final té un pes de 40g això és degut a que durant el procés s'han perdut restes de cautxú. En termes de proporció la proveta presenta:

- 75% fibres de pneumàtic.
- 25% cautxú de cotxe.

Les dimensions són:

- 190mm x 160mm.
- 2mm gruix.

Tot i utilitzar el motlle la proveta, com en el cas anterior, no presenta la forma desitjada inicialment, això torna a ser degut a que les partícules de cautxú no han cohesionat les fibres tal com s'esperava, proporcionant un altre cop una mostra fràgil que es desfà amb facilitat, el que sí que ha proporcionat una cohesió forta amb les fibres són les parts on hi havia una forta presència de cautxú provinent de les fibres inicials que en aquest cas es presenten amb més freqüència.

La mostra no superar l'anàlisi visual ni l'anàlisi estructural, les fibres han quedat mal unides i resisteixen molt poc les forces de tracció aplicades manualment, tot i així presenten una certa flexibilitat i tot i ser una resistència petita es nota una millora respecte a l'anterior mostra.

Modificacions per millorar la proveta:

- Netejar més les fibres per obtenir més cautxú de les fibres inicials.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 62 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

7.2 Assaig de provetes.

Considerant les normatives per als geotèxtils centrats en la protecció, i que per tant tenen la funció de filtrar, separar i reforçar, els assajos determinats que descriuen les característiques que s'han de documentar serien:

- Resistència a la tracció.
- Resistència a la perforació dinàmica.
- Eficiència de protecció.
- Durabilitat.
- Permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla.
- Punxonament estàtic.
- Mesura d'obertura característica.

Tot i així, tenint en compte el que posa en l'apartat de l'abast de l'enginyeria bàsica, només es realitzaran els assajos més significatius, considerant el tipus de provetes obtingudes.

És per aquest motiu que es realitzaran dos assaigs, aquests són:

- Assaig de resistència a la tracció.
- Assaig de permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla.

Les provetes que s'avaluaran per comprovar les seves característiques seran:

- Proвета 2 Cera.
- Proвета 3 Cera.
- Proвета 1 Cola.
- Proвета 2 Cola.

La Proвета 1 Cera no s'avaluarà, ja que les dimensions obtingudes no són les adients, tant en termes de llargada i amplada com en gruix, tenint en gran consideració aquest últim, ja que el que es busca és un geotèxtil prim. També s'ha de considerar la seva flexibilitat que en aquest cas és pràcticament nul·la.

La Proвета 1 i 2 Cautxú no s'avaluaran, ja que les propietats que presenten a simple vista, no són les adients, ja que no tenen cap tipus de consistència i les fibres no es mantenen del tot unides, fent inviable qualsevol pràctica dels dos assaigs.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.2.1 Assaig de resistència a la tracció.

Primer de tot, abans de descriure en què consisteix l'assaig de resistència a la tracció i el seu procediment, es definiran quines són les característiques que es busquen obtenir.

En aquest cas gràcies a aquest assaig el que es pot obtenir és el mòdul d'elasticitat o mòdul de Young, el límit elàstic, la resistència a la tracció, allargament de trencament i l'estricció.

El mòdul d'elasticitat o mòdul de Young és aquell paràmetre que defineix el comportament d'un material elàstic, segons la direcció en la qual s'aplica una força, és a dir caracteritza la rigidesa del material, la capacitat de resistir les deformacions. Aquest depèn de les propietats del material.

La fórmula que defineix el mòdul de Young és:

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L}$$

També es pot calcular a partir del pendent que s'obté de la recta, abans de la deformació, del diagrama tensió-deformació.

El límit elàstic representa el punt que si es supera la tensió que marca, el material començarà a patir deformacions permanents que no es podran recuperar tot i retirar les càrregues, és a dir marca la tensió màxima que pot patir el material si el que es vol és mantindre la seva forma original.

La resistència a la tracció representa la càrrega màxima que pot suportar el material dividida per la seva secció inicial.

$$\text{Resistència a la tracció} = \frac{F_{max}}{S_o}$$

L'allargament de trencament representa la diferència entre la longitud de trencament i la longitud inicial.

$$\Delta L = (L_{trencament} - L_o)$$

L'estricció representa la reducció de la secció que es produeix en la zona de la proveta en la qual es genera el trencament, en la gràfica s'expressa en el moment en el qual es produeix el descens de la corba tensió-deformació.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

$$Z = \frac{S_o - S_{fractura}}{S_o} * 100$$

L'assaig es realitzarà a través d'una màquina per assaig de tracció, localitzada al laboratori de resistència de materials de l'ESEIAAT, *Figura 26*, la maquinaria pot exercir grans forces i per aquest motiu esta pensada per aplicar forces molt grans sent el seu mínim de 0.001 kilonewton, és per aquest motiu que per a provetes amb la matriu de tipus cola, aquest mètode no és el més efectiu, ja que no poden aguantar grans forces (tal com es podrà apreciar més endavant).



Figura 26. Màquina d'assaig de tracció.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Per tant per poder obtenir les dades, s'ha pensat en un altre mètode, aquest consisteix en penjar amb una pinsa els extrems de les mostres. En l'extrem inferior a la pinsa es penja una bossa on s'anirà afegint arròs controlant el pes, fins a trencar les mostres i mesurar alhora amb un metro que es troba al darrere l'allargament que pateix, tal com es pot observar a la *Figura 27*.



Figura 27. Mètode d'avaluació d'assaig de tracció alternatiu.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.2.1.1 Obtenció de les mostres d'assaig.

A partir de les provetes obtingudes s'han de crear unes mostres amb les dimensions adequades per poder realitzar els assajos d'acord a les normatives i capacitats de la maquinària utilitzada. En aquest cas la màquina d'assaig de tracció només pot agafar unes provetes amb una amplada d'un màxim de 40mm. La llargada és indiferent i el gruix varia segons el tipus de proveta.

Amb unes estisores es retallen les provetes per obtenir les mostres amb les dimensions adequades, per tal d'aconseguir les mostres més o menys iguals s'ha decidit que totes, incloses les que no s'introduiran en la maquinària sinó que es calcularan manualment, tinguin una amplada de 40 mm.

Les mostres corresponents a la Proveta 2 Cera, que es poden observar a la *Figura 28*, són:

- Mostra 1 Proveta 2 Cera: Dimensions 40mm amplada, 200mm llargada, 5mm gruix.
- Mostra 2 Proveta 2 Cera: Dimensions 40mm amplada, 200mm llargada, 5mm gruix.

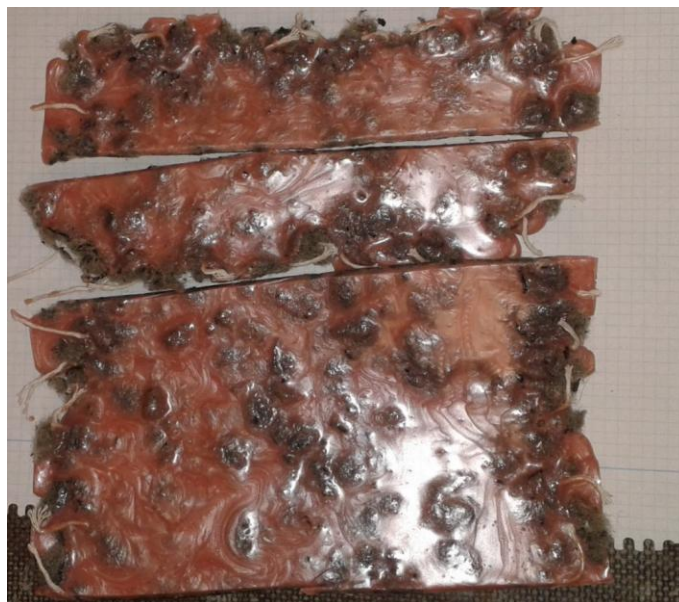


Figura 28. Mostres Proveta 2 Cera. Adalt de tot la Mostra 1 i abaix d'aquesta la Mostra 2



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Les mostres corresponents a la Proveta 3 Cera, que es poden observar a la *Figura 29*, són:

- Mostra 1 Proveta 3 Cera: Dimensions 40mm amplada, 230mm llargada, 5mm gruix.
- Mostra 2 Proveta 3 Cera: Dimensions 40mm amplada, 170mm llargada, 5mm gruix.



Figura 29. Mostra Proveta 3 Cera. A la esquerra la Mostra 1 i a la dreta la Mostra 2.

Les mostres corresponents a la Proveta 1 Cola, que es poden observar a la *Figura 30*, són:

- Mostra 1 Proveta 1 Cola: Dimensions 40mm amplada, 190mm llargada, 8mm gruix.
- Mostra 2 Proveta 1 Cola: Dimensions 40mm amplada, 180mm llargada, 10mm gruix.



Figura 30. Mostra Proveta 1 Cola. A la esquerra la Mostra 1 i a la dreta la Mostra 2.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Les mostres corresponents a la Proveta 2 Cola, que es poden observar a la *Figura 31*, són:

- Mostra 1 Proveta 2 Cola: Dimensions 40mm amplada, 225mm llargada, 5mm gruix.
- Mostra 2 Proveta 2 Cola: Dimensions 40mm amplada, 210mm llargada, 5mm gruix.
- Mostra 3 Proveta 2 Cola: Dimensions 40mm amplada, 125mm llargada, 5mm gruix.



Figura 31. Mostra Proveta 2 Cola. A la esquerra la Mostra 2, en mig la Mostra 1.

En el cas de les mostres que s'introduiran en la màquina d'assaig de tracció, al ser de cera s'ha decidit que per evitar que s'enganxi a les mordasses i que pugui deixar residus en ella, les extremitats de les mostres s'embolicaran amb plàstic.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

7.2.1.2 Resultats.

Mostra 1 Proveta 2 Cera:

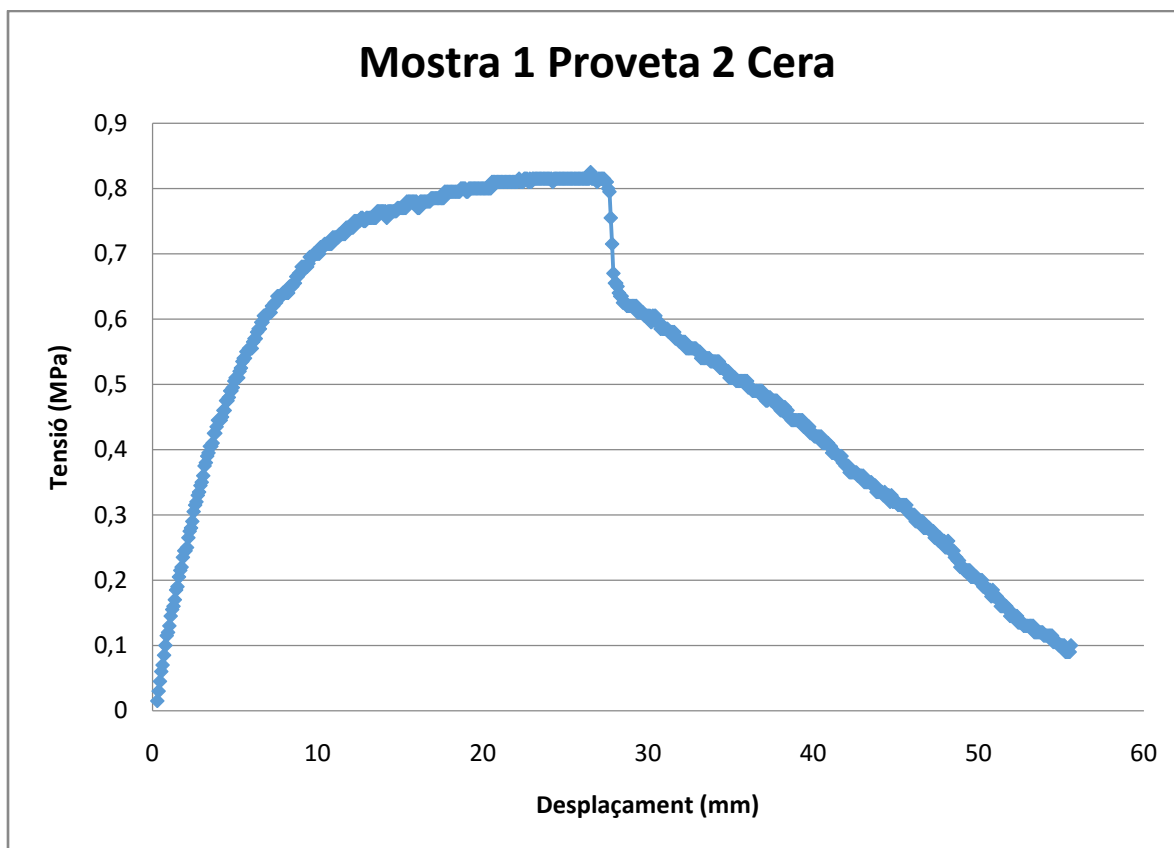


Figura 32. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 2 Cera.

Per calcular el Mòdul de Young tal com s'ha comentat anteriorment s'ha de calcular la recta que s'obté abans de què la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la *Figura 33*.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

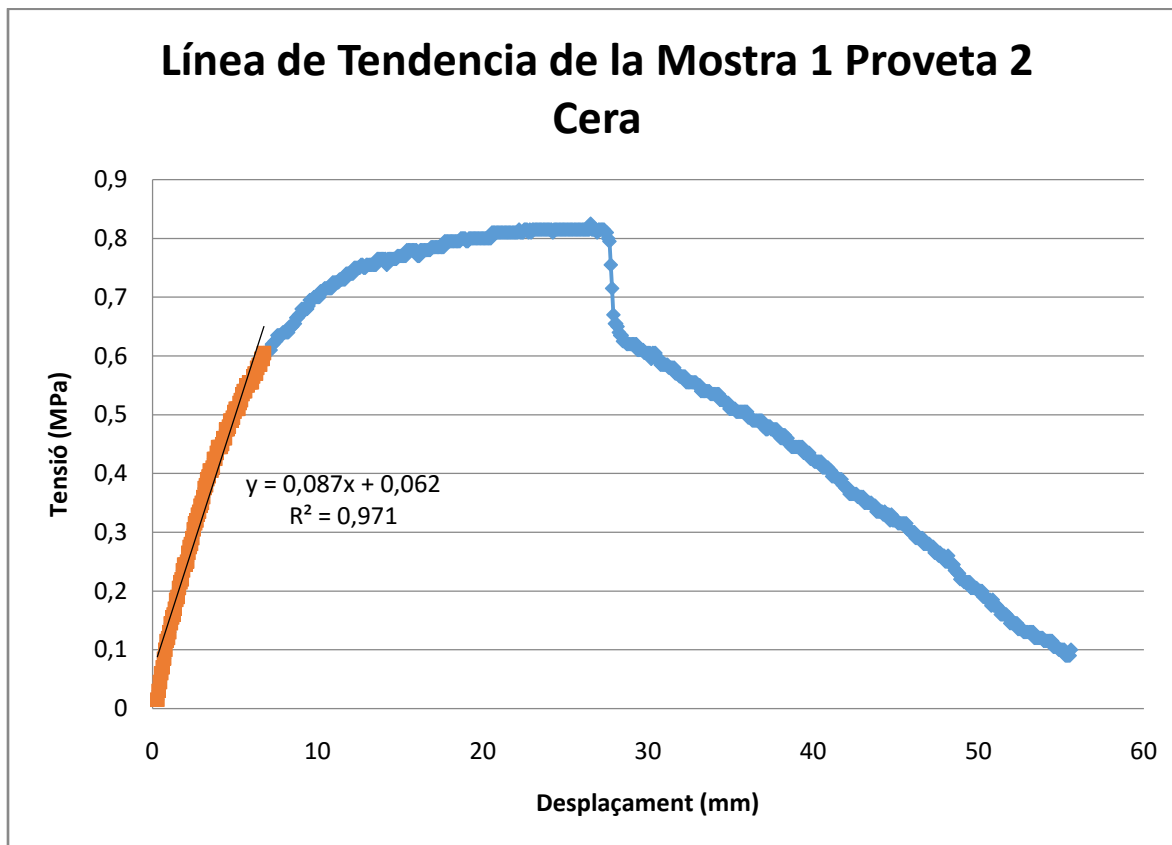


Figura 33. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 2 Cera.

Amb un error de 0,971 i una recta de tendència de $y = 0,087x + 0,062$.

Mòdul de Young: 0,087 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,605 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,825 MPa.

Allargament de trencament: 26,52 mm.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40mm * 5mm - 35mm * 2mm}{40mm * 5mm} * 100 = 65\%$$

Estricció: 65%.

En la *Figura 34* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 34. Mostra 1 Proveta 2 Cera fracturada.

Com es pot apreciar la fractura es troba totalment desalineada respecte a la proveta, això és causat molt probablement perquè les mordaces no han pogut agafar bé la mostra produint esforços que hagin pogut produir la desviació, també però pot haver estat causat per la falta d'homogeneïtat de les fibres que hagin produït que la proveta fos més dèbil per un costat. Es pot observar com la cera ha quedat amb una deformació plàstica, fet que contrasta amb les fibres que han recuperat la seva forma original. També es pot apreciar com a causa de què en el procediment d'elaboració d'aquesta proveta únicament s'havia afegit una capa de cera aquesta al endurir-se s'ha tornat més fràgil fent que apareguin les esquerdes al llarg de tota la mostra.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 2 Proveta 2 Cera:

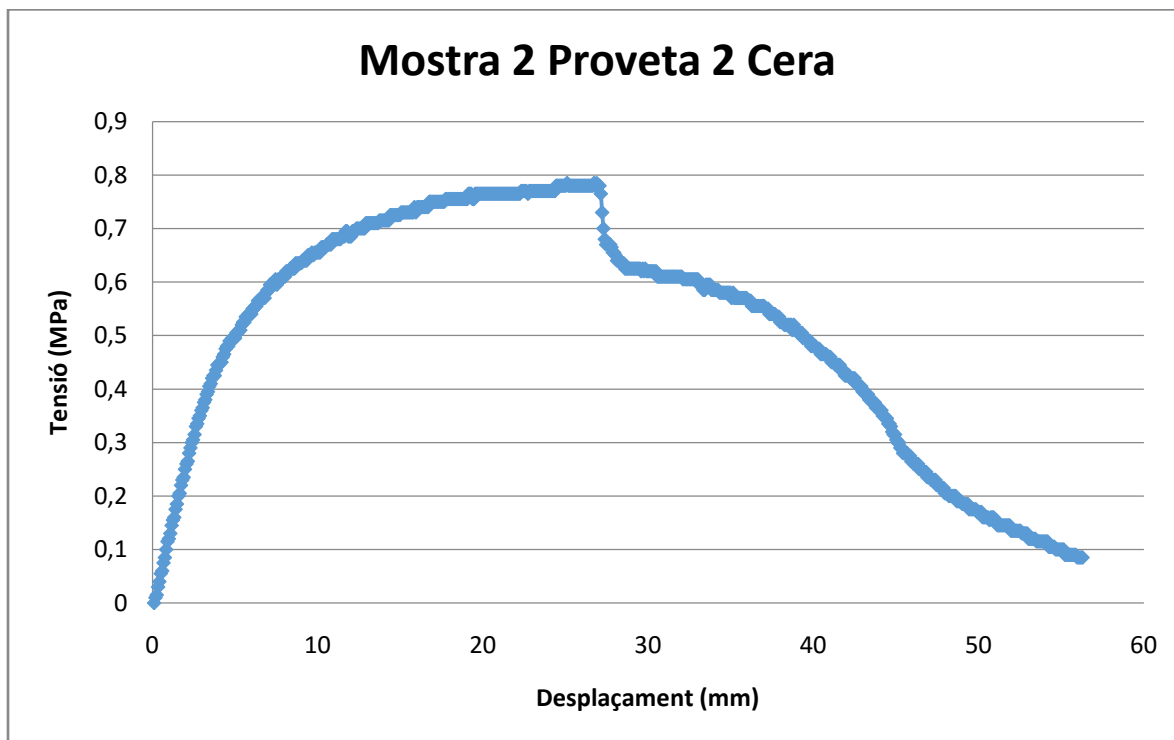


Figura 35. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 2 Cera.

Per calcular el Mòdul de Young, com en el cas anterior, s'ha de calcular la recta que s'obté abans de que la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la *Figura 36*.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

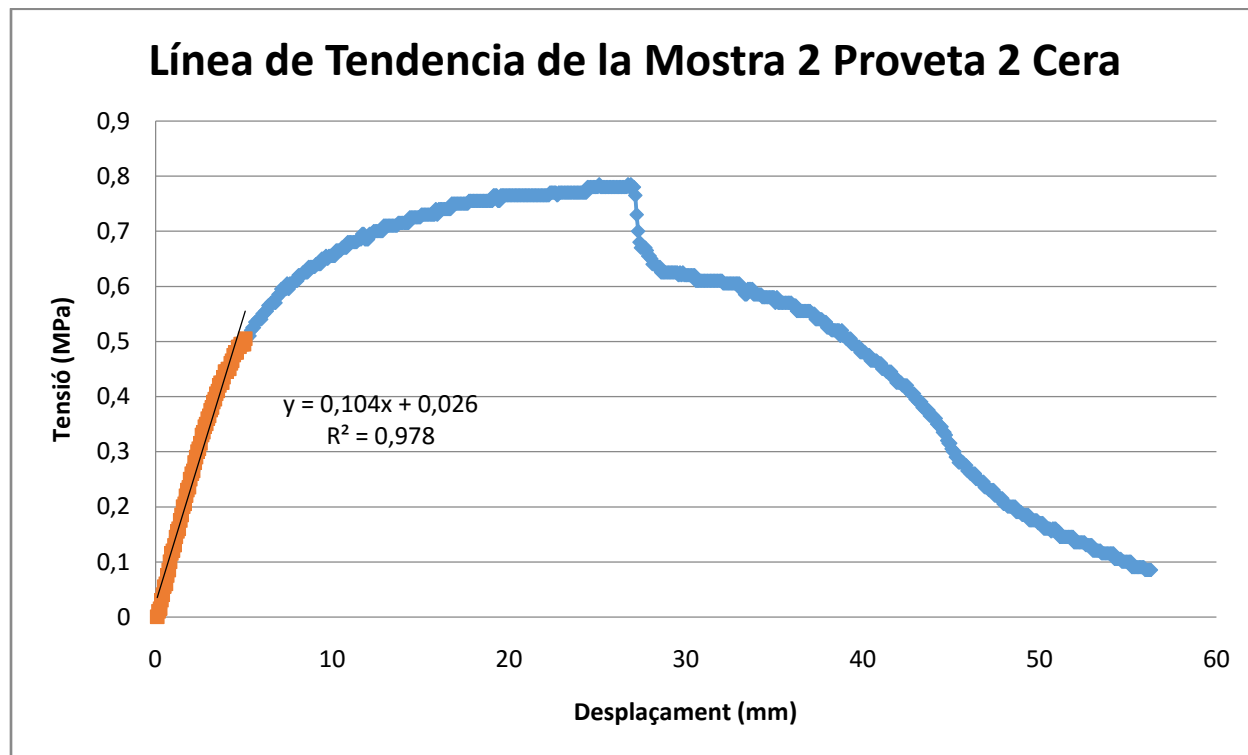


Figura 36. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 2 Cera.

Amb un error de 0,978 i una recta de tendència de $y = 0,104x + 0,026$.

Mòdul de Young: 0,104 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit de Elàstic: 0,505 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,785 MPa.

Allargament de trencament: 26,88 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

$$Z = \frac{40\text{mm} * 5\text{mm} - 35\text{mm} * 2\text{mm}}{40\text{mm} * 5\text{mm}} * 100 = 65\%$$

Estricció: 65%.

En la *Figura 37* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.

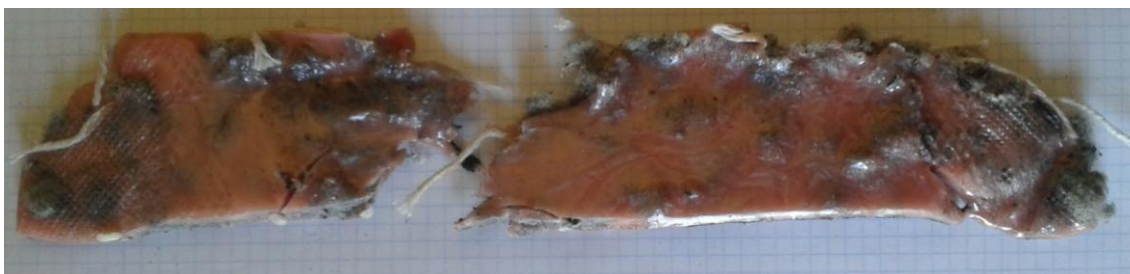


Figura 37. Mostra 2 Proveta 2 Cera fracturada.

Com en el cas anterior es pot apreciar com la fractura es troba totalment desalineada respecte a la proveta, això és causat molt probablement perquè les mordaces no han pogut agafar bé la mostra produint esforços que hagin pogut produir la desviació, també com en el cas anterior pot haver estat causat per la falta d'homogeneïtat de les fibres que hagin produït que la proveta fos més dèbil per un costat. Es pot observar com la cera ha quedat amb una deformació plàstica. També es pot apreciar com a causa de que en aquesta proveta únicament s'havia afegit una capa de cera aquesta al endurir-se s'ha tornat més fràgil fent que apareguin les esquerdes al llarg de tota la mostra.

Proveta 2 Cera

Es calcula la mitja de les dos mostres per aproximar quin són els valors genèrics de la proveta.

Mòdul de Young: 0,0955 MPa.

Límit Elàstic: 0,555 MPa.

Resistència a la tracció: 0,805 MPa.

Allargament de trencament: 26,7 mm.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 1 Proveta 3 Cera:

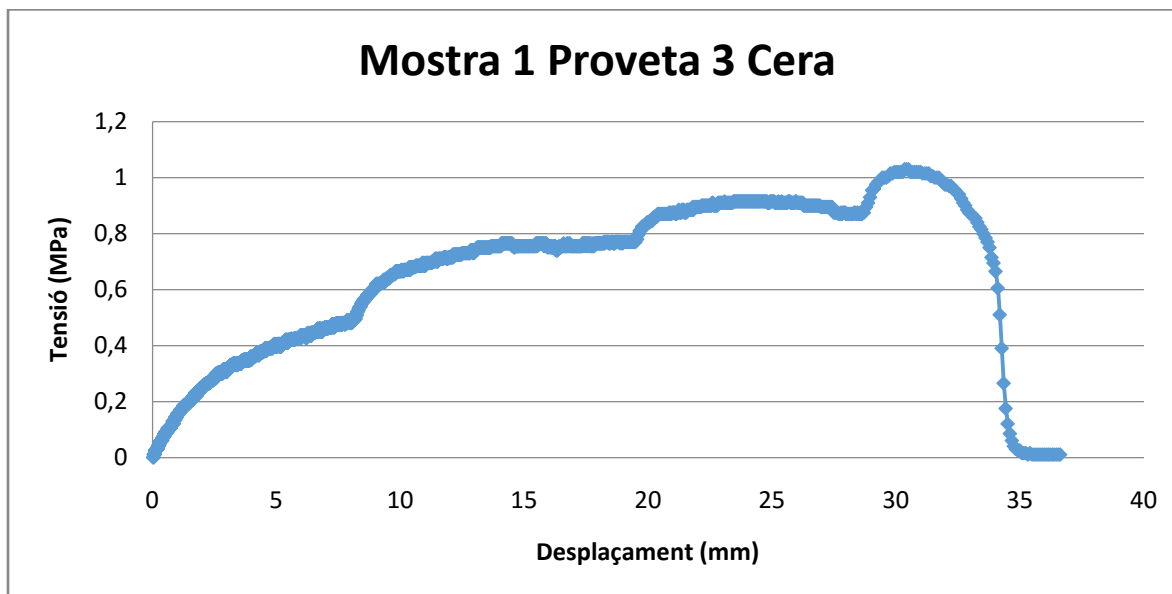


Figura 38. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 3 Cera.

La gràfica ha resultat d'aquesta forma, ja que va ser la primera mostra a ser assajada i durant el procés es va canviar tres cops la velocitat en la qual les pinces es separaven per tal d'optimitzar l'assaig. Aquest fet es veu representat pels tres canvis bruscos que pateix el gràfic. S'inicia amb velocitat de posada en càrrega de 2 MPa/s, es passa a 5 MPa/s, a 10 MPa/s i finalment a 25 MPa/s.

Per calcular el Mòdul de Young, com en el cas anterior, s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de què la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la Figura 39.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

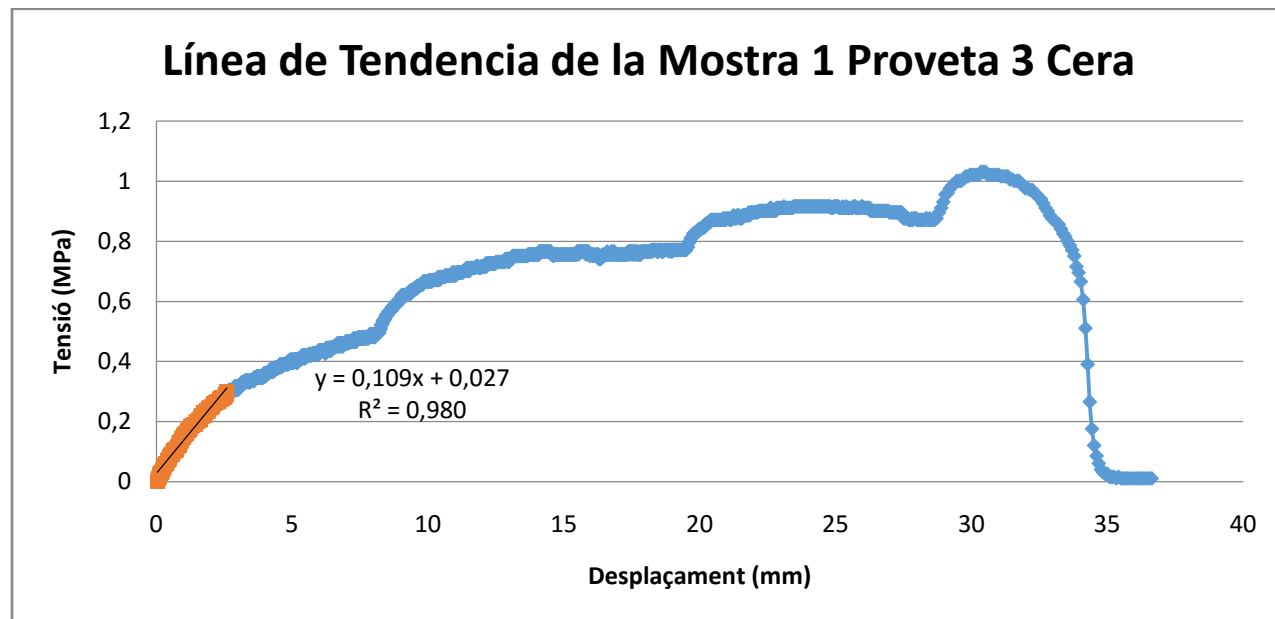


Figura 39. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 3 Cera.

Amb un error de 0,980 i una recta de tendència de $y = 0,109x + 0,027$.

Mòdul de Young: 0,109 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,3 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 1,03 MPa.

Allargament de trencament: 30,51 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40mm * 5mm - 36mm * 1mm}{40mm * 5mm} * 100 = 82\%$$



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Estricció: 82%.

En la *Figura 40* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 40. Mostra 1 Proveta 3 Cera fracturada.

Com en els casos anteriors es pot apreciar com la fractura es troba totalment desalineada respecte a la proveta, això pot haver estat causat perfectament perquè les mordaces no han pogut agafar bé la mostra produint esforços que hagin pogut produir la desviació, aquesta dificultat pot haver estat fomentada pel plàstic introduït per a la protecció de les mordaces. En aquest cas és més complicat que la causa hagi pogut ser per la falta d'homogeneïtat, ja que en aquest cas sí que la proveta i les fibres es trobaven ben mesclades. A diferència dels casos anteriors la mescla de cera i fibres ha fet que la cera no es tornes rígida sinó que mantingues una certa elasticitat reduint així la seva fragilitat i reduint així les esquerdes que es poguessin produir. Es pot observar com la cera ha quedat amb una deformació plàstica.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 2 Proveta 3 Cera:

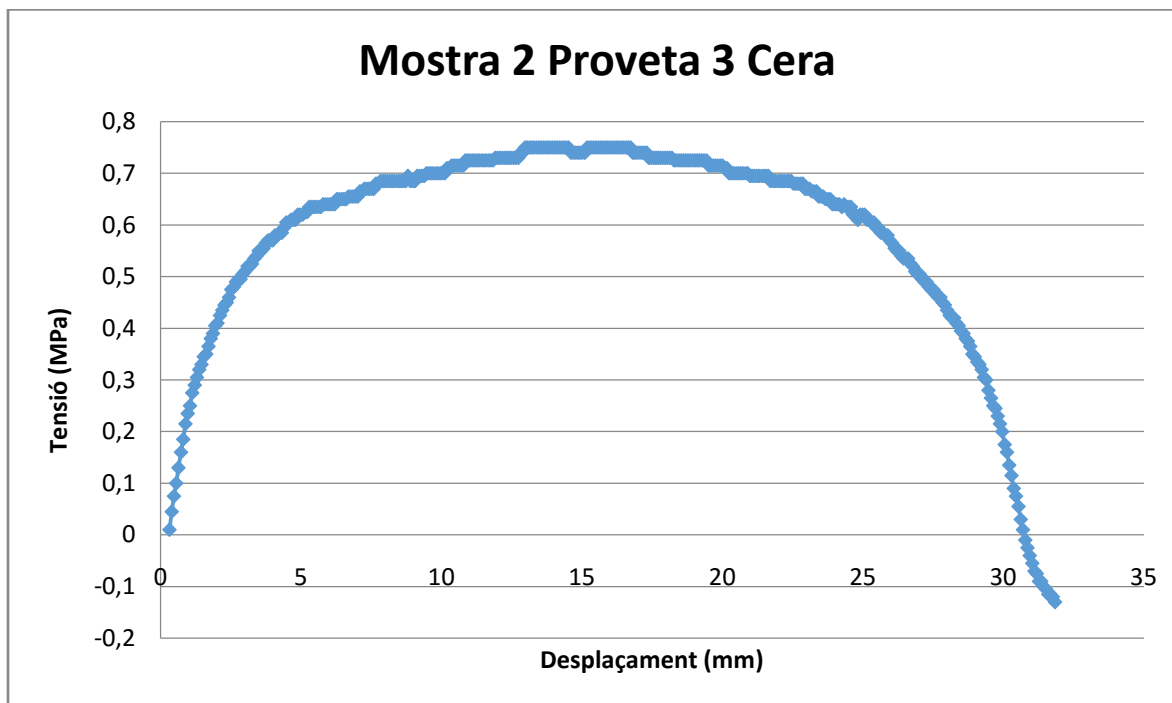


Figura 41. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 3 Cera.

Per calcular el Mòdul de Young com en els casos anteriors s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de què la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la *Figura 42*.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

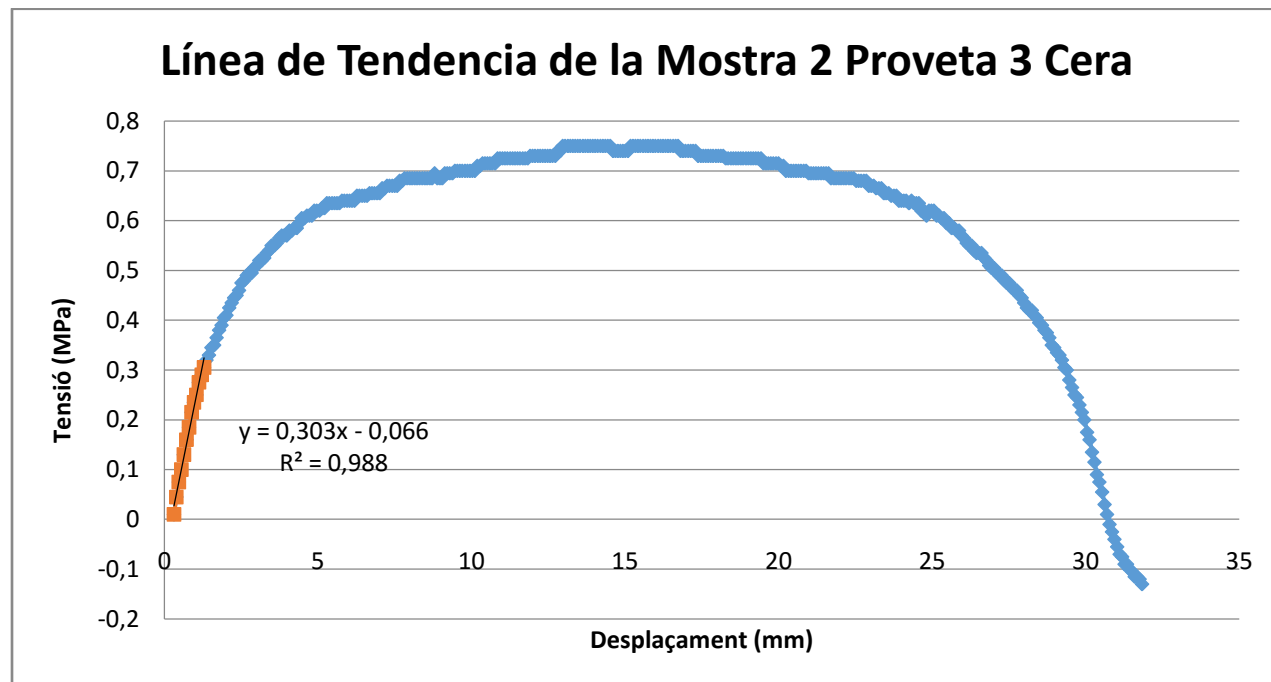


Figura 42. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 3 Cera.

Amb un error de 0,988 i una recta de tendència de $y = 0,303x + 0,066$.

Mòdul de Young: 0,303 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,305 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,75 MPa.

Allargament de trencament: 16,73 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40\text{mm} * 5\text{mm} - 30\text{mm} * 1\text{mm}}{40\text{mm} * 5\text{mm}} * 100 = 85\%$$

Estricció: 85%.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En la *Figura 43* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 43. Mostra 2 Proveta 3 Cera fracturada.

En aquest cas la fractura està alineada amb la proveta això vol dir que en aquest cas les mordaces han pogut exercir la seva força perfectament. Com en el cas anterior la mescla de cera i fibres ha fet que la cera no es tornés rígida sinó que mantingues una certa elasticitat reduint així la seva fragilitat i reduint així les esquerdes que es poguessin produir. Es pot observar com la cera ha quedat amb una deformació plàstica. El fet de que la fractura es trobi tan a prop d'una cantonada pot haver estat causat perquè en els extrems la capa era una mica més prima fent que fos més dèbil.

Proveta 3 Cera

Es calcula la mitja de les dues mostres per aproximar quin són els valors genèrics de la proveta.

Mòdul de Young: 0,206 MPa.

Límit Elàstic: 0,3025 MPa.

Resistència a la tracció: 0,89 MPa.

Allargament de trencament: 23,62 mm.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 1 Proveta 1 Cola:

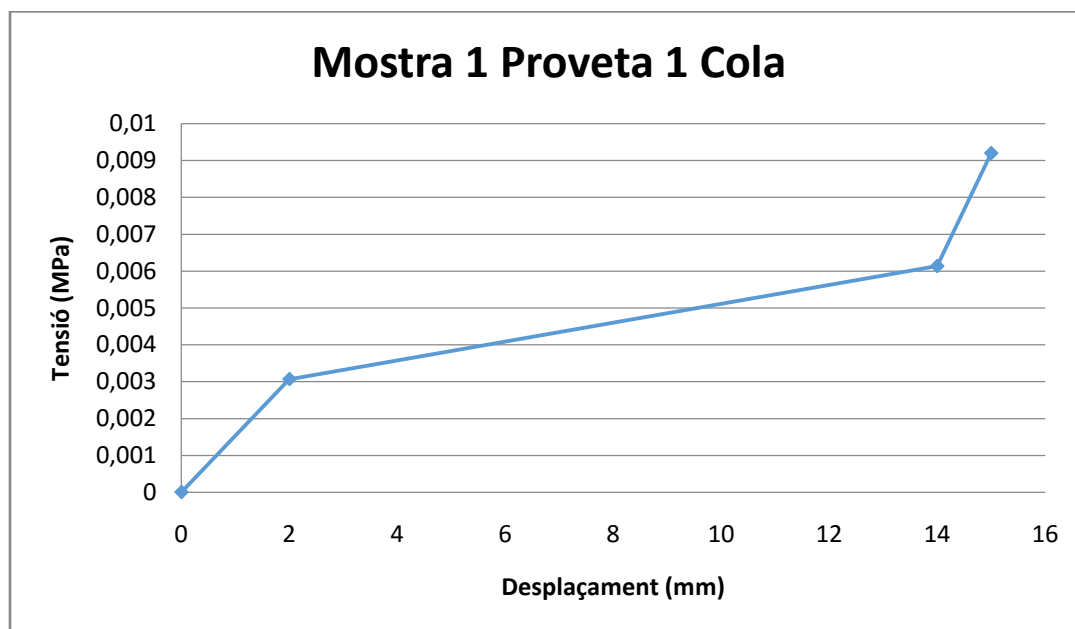


Figura 44. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 1 Cola.

Per calcular el Mòdul de Young com en els casos anteriors s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de què la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la *Figura 45*.

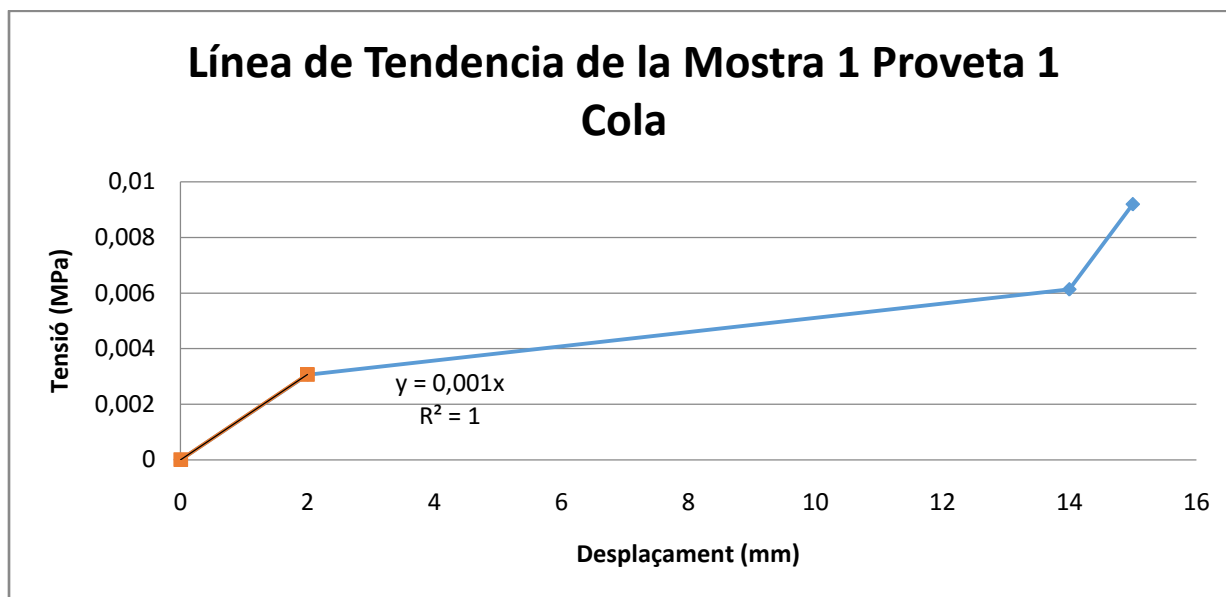


Figura 45. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 1 Proveta 1 Cola.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Amb un error de 1 i una recta de tendència de $y = 0,001x$. Aquest procediment en aquest cas no és viable per la falta de dades més específiques per tant s'aplicarà la fórmula pel càlcul del mòdul de Young:

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{0,003065625}{2/190} = 0,29123 \text{ MPa}$$

Mòdul de Young: 0,29123 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,003065625 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,009196875 MPa.

Allargament de trencament: 15 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40\text{mm} * 8\text{mm} - 38\text{mm} * 8\text{mm}}{40\text{mm} * 8\text{mm}} * 100 = 5\%$$

Estricció: 5%.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En la *Figura 46* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 46. Mostra 1 Proveta 1 Cola fracturada.

En aquest cas la fractura està alineada amb la proveta això com en el cas anterior vol dir que les mordaces han pogut exercir la seva força, tot i així tot i que es vegin dos punts de ruptura només un ha estat causat per l'assaig el segon es va produir en el moment en el qual es va recollir la mostra que es trobava molt fràgil. La mescla de cola i fibres ha augmentat la resistència de la unió de fibres tot i així la deformació que pateix no és plàstica sinó que les fibres recuperen la forma inicial.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 2 Proveta 1 Cola:

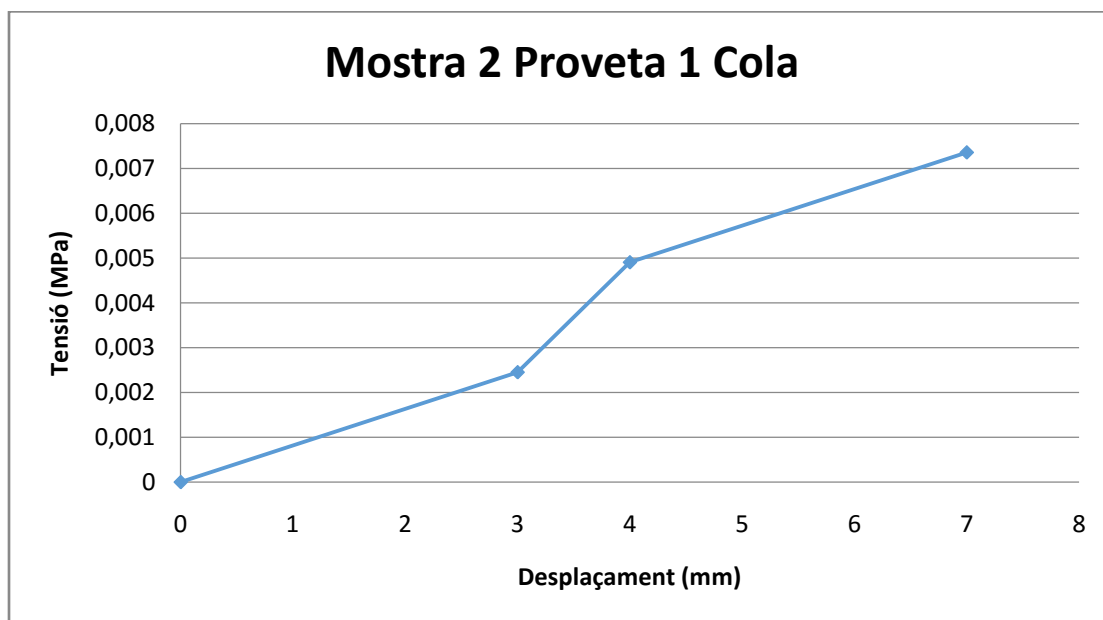


Figura 47. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 1 Cola.

Per calcular el Mòdul de Young com en els casos anteriors s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de que la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la Figura 48.

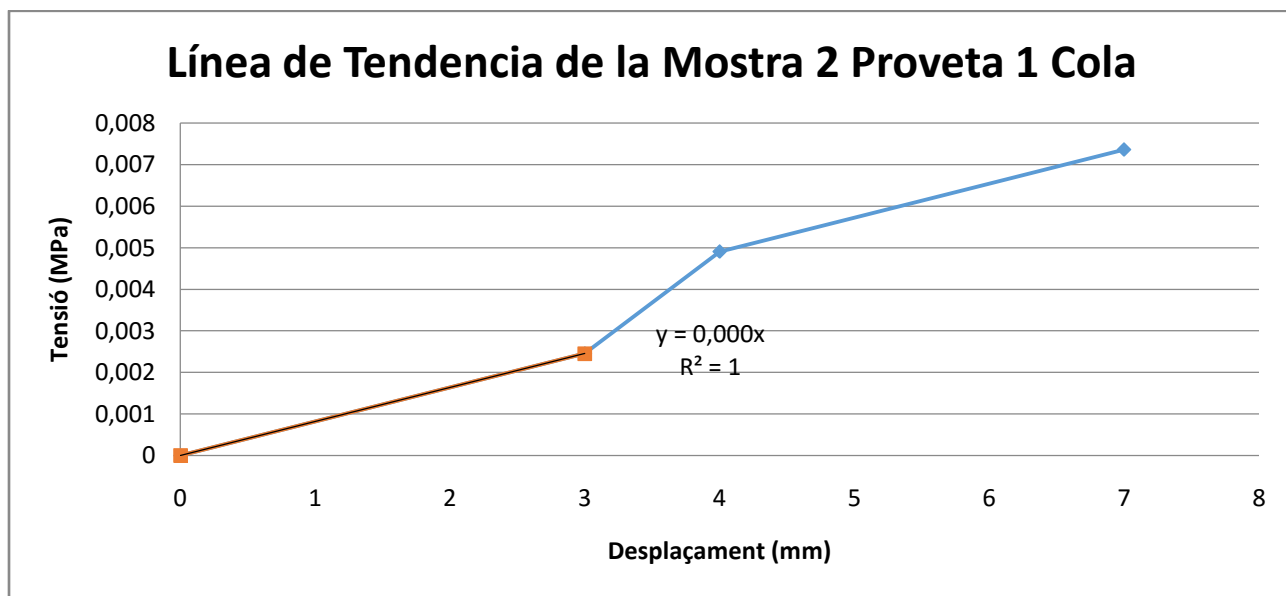


Figura 48. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 1 Cola.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Com es pot apreciar el valor és massa petit i falten dades per especificar millor el procés, per aquest cas s'aplicarà l'equació, pel càlcul del mòdul de Young:

$$E = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{0,0024525}{3/180} = 0,14715 \text{ MPa.}$$

Mòdul de Young: 0,14715 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,0024525 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,0073575 MPa.

Allargament de trencament: 7 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40\text{mm} * 10\text{mm} - 39\text{mm} * 10\text{mm}}{40\text{mm} * 10\text{mm}} * 100 = 2,5\%$$

Estricció: 2,5%.

 Secció Terrassa	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
			Pàg.: 86 de 113
			Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics			

En la *Figura 49* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.

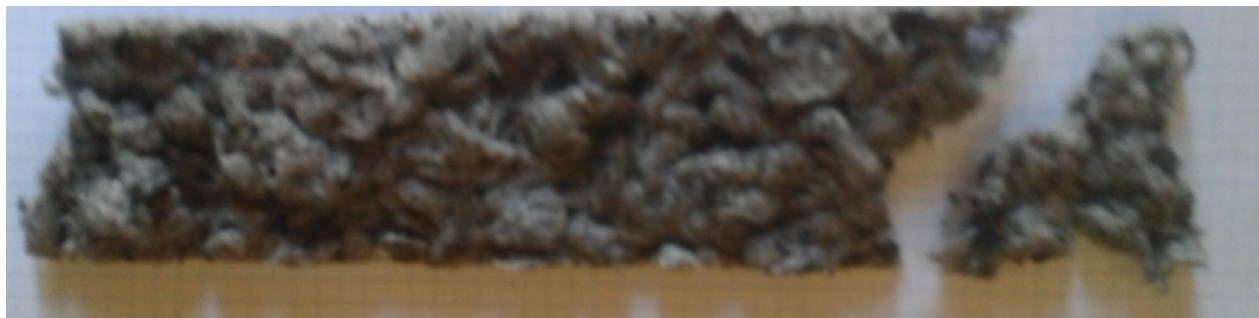


Figura 49. Mostra 2 Proveta 1 Cola fracturada.

En aquest cas la fractura no està alineada amb la proveta això vol dir que les mordaces (es a dir les pinces) no han pogut repartir bé els seus esforços. La mescla de cola i fibres ha augmentat la resistència de la unió de fibres tot i així la deformació que pateix no és plàstica sinó que les fibres recuperen la forma inicial. El fet de que la fractura es produeixi tan a prop de l'extrem pot haver estat causat també per una possible mala instal·lació de la pinsa i que aquesta es clavés massa fort a la proveta.

Proveta 1 Cola

Es calcula la mitja de les dues mostres per aproximar quin són els valors genèrics de la proveta.

Mòdul de Young: 0,219 MPa.

Límit Elàstic: 0,00275 MPa.

Resistència a la tracció: 0,0083 MPa.

Allargament de trencament: 11 mm.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 1 Proveta 2 Cola:

Aquest cas es va utilitzar la màquina d'assaig de tracció.

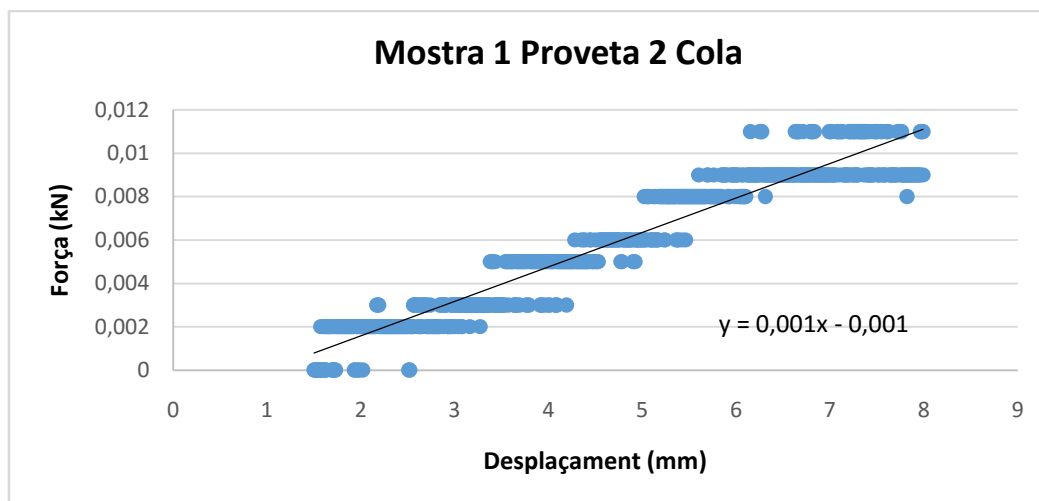


Figura 50. Gràfic assaig de tracció Mostra 1 Proveta 2 Cola.

Com es pot apreciar el resultat obtingut no proporciona unes dades molt precises, ja que la càrrega que podia suportar la mostra és massa petita per la màquina d'assaig de tracció.

Per aquest motiu es va optar per utilitzar el mètode més tradicional.

En la *Figura 51* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 51. Mostra 1 Proveta 2 Cola fracturada.

La mostra no es va acabar de fracturar del tot, ja que al comprovar la força que exercia la màquina es veia que els resultats no serien concrets. La fractura però sembla que fos alineada amb la proveta fet que ens indica que les mordaces repartien bé els esforços.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 2 Proveta 2 Cola:

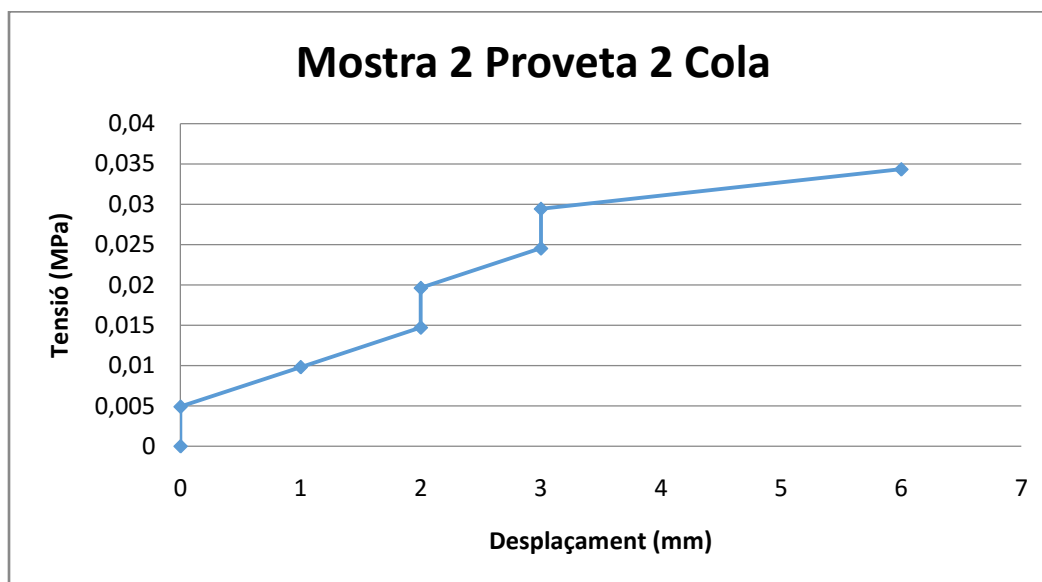


Figura 52. Gràfic assaig de tracció Mostra 2 Proveta 2 Cola.

Per calcular el Mòdul de Young com en els casos anteriors s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de què la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la Figura 53.

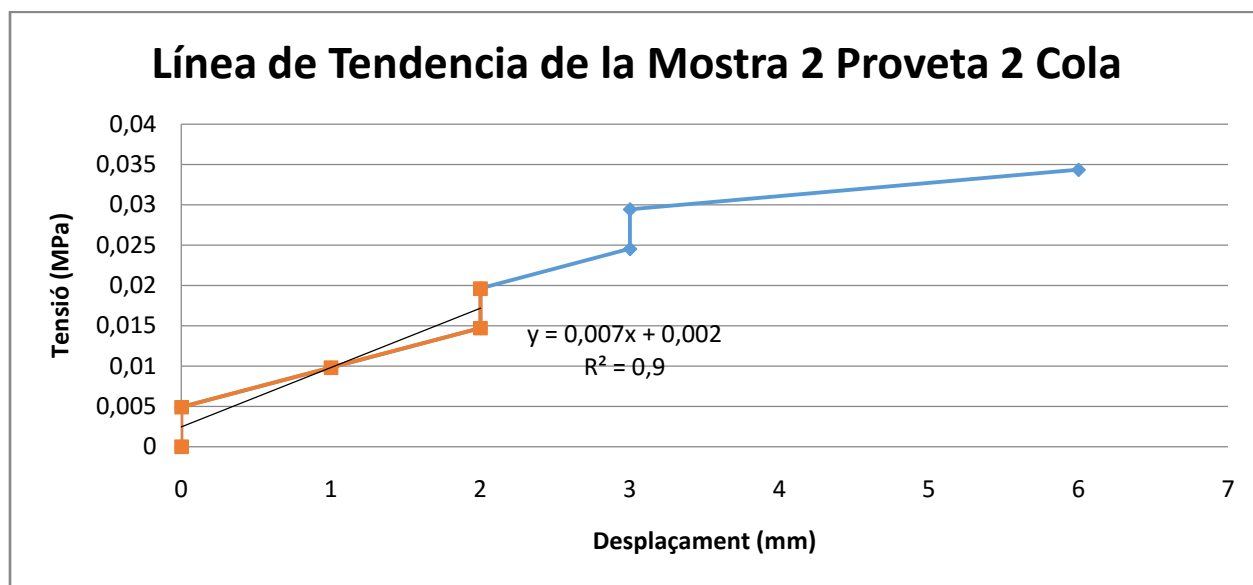


Figura 53. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 2 Proveta 2 Cola.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Amb un error de 0,9 i una recta de tendència de $y = 0,007x + 0,002$.

Mòdul de Young: 0,007 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,01962 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,034335 MPa.

Allargament de trencament: 6 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40mm * 5mm - 35mm * 5mm}{40mm * 5mm} * 100 = 12,5\%$$

Estricció: 12,5%.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En la *Figura 54* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 54. Mostra 2 Proveta 2 Cola fracturada.

En aquest cas la fractura si esta alineada amb la proveta això vol dir que les mordaces (és a dir les pinces) han pogut repartir bé els seus esforços. La mescla de cola i fibres com ens els casos anteriors ha augmentat la resistència de la unió de fibres tot i així la deformació que pateix no és plàstica sinó que les fibres recuperen la forma inicial. El fet de que la fractura es produeixi tan a prop de l'extrem pot haver estat causat també per una possible mala instal·lació de la pinsa i que aquesta es clavés massa fort a la proveta.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Mostra 3 Proveta 2 Cola:

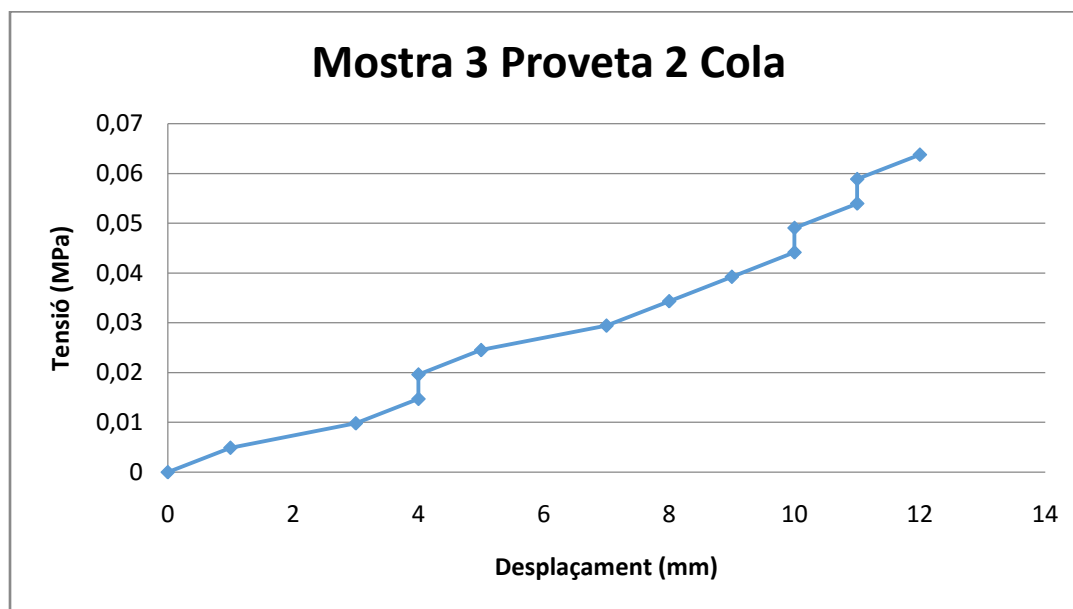


Figura 55. Gràfic assaig de tracció Mostra 3 Proveta 2 Cola.

Per calcular el Mòdul de Young com en els casos anteriors s'ha de tornar a calcular la recta que s'obté abans de que la proveta comenci a tenir una certa curvatura. Tal com es pot observar en la Figura 56.

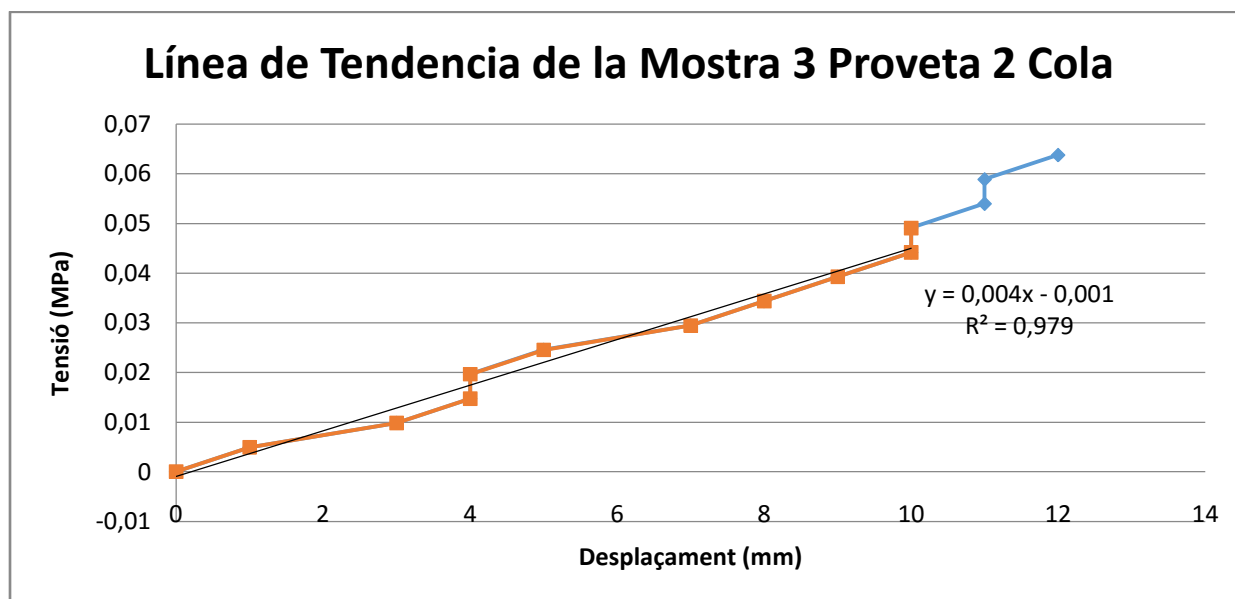


Figura 56. Gràfic assaig de tracció on es marca la línia de tendència de la Mostra 3 Proveta 2 Cola.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Amb un error de 0,979 i una recta de tendència de $y = 0,004x + 0,001$.

Mòdul de Young: 0,004 MPa.

Tenint en compte el gràfic s'obté:

Límit Elàstic: 0,04905 MPa.

Tenint en compte el punt de ruptura s'obté:

Resistència a la tracció: 0,063765 MPa.

Allargament de trencament: 12 mm.

Per calcular l'estricció s'aplica l'equació anteriorment esmentada:

$$Z = \frac{40mm * 5mm - 38mm * 4mm}{40mm * 5mm} * 100 = 24\%$$

Estricció: 24%.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

En la *Figura 57* es pot observar el mode en el qual la mostra ha trencat.



Figura 57. Mostra 3 Proveta 2 Cola fracturada.

En aquest cas la fractura no està alineada amb la proveta això vol dir que les mordaces (és a dir les pinces) no han pogut repartir bé els seus esforços. La mescla de cola i fibres com ens els casos anteriors ha augmentat la resistència de la unió de fibres tot i així la deformació que pateix no és plàstica sinó que les fibres recuperen la forma inicial. El fet de que la fractura es produeixi tan a prop de l'extrem pot haver estat causat també per una possible mala instal·lació de la pinsa i que aquesta es clavés massa fort a la proveta.

Proveta 2 Cola

Es calcula la mitjana de les dues mostres per aproximar quin són els valors genèrics de la proveta.

Mòdul de Young: 0,0055 MPa.

Límit Elàstic: 0,034335 MPa.

Resistència a la tracció: 0,04905 MPa.

Allargament de trencament: 9 mm.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 94 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

7.2.2 Assaig de permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla.

Hi ha diversos mètodes per poder elaborar un assaig de permeabilitat a l'aigua perpendicularment al pla, aquest poden consistir des de col·locar un dipòsit d'aigua i dividir-lo en dues parts gràcies a la mostra, omplir-lo d'aigua i comprovar quina és la quantitat d'aigua que traspasa la mostra, per anivellar-se, fins a ruixar la mostra amb alguna substància amb les mateixes propietats que l'aigua que et marqui amb un colorant quines són les parts que pot traspasar i quines no, etc...

En aquest cas al no tenir molts mètodes per avaluar el nivell de permeabilitat de les mostres, s'ha optat per aplicar un mètode que es pugui utilitzar en qualsevol casa.

L'assaig consisteix en col·locar les mostres (en aquest cas seran els fragments d'on s'han retallat les mostres de l'assaig de resistència a la tracció) sobre un cubell, aguantada sobre dos llistons de fusta, sota la mostra, és a dir, entre els llistons de fusta i la mostra, s'introdueix un tros de paper, més petit que la mostra a estudiar, centrat a aquesta.

Un cop estigui tot instal·lat es dutxarà la mostra, durant un breu període de temps, de tal forma que l'aigua sobrant caigui dins del cubell. En cas de què la mostra sigui impermeable el tros de paper que es troba entre els llistons de fusta i la mostra es trobarà completament sec, en cas contrari indicarà que la mostra no és impermeable i es valorarà observant el procés la seva capacitat de drenatge.

7.2.2.1 Resultats.

Proveta 2 Cera:

Les dimensions de la proveta són: 200 mm x 110 mm x 5 mm.

Les dimensions de l'indicador de paper són: 85 mm x 120 mm.



Figura 58. Proveta 2 Cera i indicador de paper.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

S'ha dutxat la mostra durant 10 segons, a continuació s'ha deixat assecar durant 1 minut.

L'indicador de paper es troba completament sec, la mostra és impermeable.

Proveta 3 Cera:

Les dimensions de la proveta són: 230 mm x 205 mm x 2 mm.

Les dimensions de l'indicador de paper són: 165 mm x 115 mm.



Figura 59. Proveta 3 Cera i indicador de paper.

S'ha dutxat la mostra durant 10 segons, a continuació s'ha deixat assecar durant 1 minut.



Figura 60. Proveta 3 després de passar el assaig.

L'indicador de paper es troba completament sec, la mostra és impermeable. Tal com es pot observar a la *Figura 60* l'aigua no aconsegueix travessar la proveta sinó que es queda en forma de gotes a la superfície.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

Proveta 1 Cola:

Les dimensions de la proveta són: 175 mm x 155 mm x 8 mm.

Les dimensions de l'indicador de paper són: 125 mm x 65 mm.



Figura 61. Proveta 1 Cola i indicador de paper.

S'ha dutxat la mostra durant 10 segons, a continuació s'ha deixat assecat durant 1 minut.



Figura 62. Proveta 1 Cola després de passar l'assaig.

L'indicador de paper es troba mullat, la mostra és permeable. Tal com es pot observar en la *Figura 62* la mostra ha absorbit l'aigua com una esponja, els llocs on el paper es troba més mullat són les zones en les quals hi havia una presència més petita de fibres. La mostra s'ha començat a desfer perdent tota



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

la seva consistència. Al deixar-se assecar durant 48 hores més, la mostra recupera consistència tot i que les fissures formades no es poden tornar a unir sinó és amb un nou tractament, a més a més ha anat deixant passar l'aigua absorbida perdent trossos de fibres.

Proveta 2 Cola:

Les dimensions de la proveta són: 180 mm x 125 mm x 5 mm.

Les dimensions de l'indicador de paper són: 113 mm x 80 mm.



Figura 63. Proveta 2 Cola i indicador de paper.

S'ha dutxat la mostra durant 10 segons, a continuació s'ha deixat assecar durant 1 minut.



Figura 64. Proveta 2 Cola després de passar l'assaig.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

L'indicador de paper es troba mullat, la mostra és permeable. Els llocs on el paper es troba més mullat són les zones en les quals hi havia una menor presència de fibres. Tal com es pot observar en la *Figura 64* la mostra a tornat a absorbir l'aigua, perdent com en la mostra anterior consistència generant esquerdes, tot i així no ha perdut tant de material com en el cas anterior. Al deixar-se assecar durant 48h més, la mostra ha recuperat consistència tot i que les esquerdes no s'han recuperat.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

8 Sistema de Producció.

Com ja s'ha pogut comprovar existeixen diversos mètodes per poder generar un geotèxtil a partir de les fibres reciclades dels pneumàtics, tot i així, en aquest apartat, considerant els resultats obtinguts i l'elaboració de les provetes, s'estudiaran els possibles sistemes de producció per a la generació de geotèxtils amb matrius de cera i cola d'enganxar. No es considerarà un sistema de producció amb una matriu de cautxú, ja que els resultats a l'hora d'elaborar-los no proporcionen una idea precisa de com fer un bon geotèxtil amb aquesta combinació.

8.1 Producció de geotèxtil amb fibres i cera.

Tenint en compte els resultats obtinguts en l'assaig de resistència a la tracció i l'assaig de permeabilitat a l'aigua perpendicular al pla, es pot afirmar que la mescla de fibres i cera és millor que aplicar una capa d'unió de cera amb les fibres, és per aquest motiu, que aquest sistema de producció està més centrat en la generació de productes, semblants a la Proveta 3 Cera.

Per poder generar un bon producte primer de tot s'ha d'aplicar un control de qualitat de la matèria primera proporcionada pel proveïdor, en el cas de les fibres de pneumàtic s'ha de vigilar sobretot que no presenti cap tipus de fibres d'acer, tot i que en el cas del cautxú s'ha de vigilar que no presenti una concentració superior a la pactada. En el cas de la cera en canvi s'ha de comprovar que les propietats que presenta són les pactades.

Un cop es superi el control de qualitat s'introduirà la cera a una caldera de mescla on s'anirà escalfant la cera de tal forma que no quedin grumolls. Les fibres s'introduiran a una cinta transportadora que traslladarà les fibres fins a la caldera de mescla on es troba la cera en l'estat ideal per a realitzar la combinació.

Quan la mescla es trobi completament homogeneïtzada en les proporcions desitjades és col·locarà la combinació sobre un altre cinta amb un protector antiadherent que farà passar la substància a través d'unes calandres que li proporcionaran al geotèxtil el gruix desitjat, a més a més aquestes calandres refredaran la mescla obtenint el producte endurit.

Finalment amb el producte endurit es passarà la membrana a través d'unes cisalles que tallaran el geotèxtil a les dimensions desitjades.

Durant tot el procés s'hauran de realitzar dos controls de qualitat per comprovar en quin estat es troba el producte, aquest control s'efectuaran primer en el moment en el qual s'introdueix la substància que s'obté de la caldera de mescla, per comprovar si la proporció de fibres i cera és correcta i l'altre en el producte que surt de les calandres, per comprovar si el gruix és el desitjat i si s'ha produït alguna fissura en el procés.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

8.2 Producció de geotèxtil amb fibres i cola.

Com en el cas anterior per poder generar un bon producte primer de tot serà necessari aplicar un control de qualitat de la matèria primera proporcionada pel proveïdor, s'haurà de vigilar que les fibres no presentin cap tipus de filament d'acer, i que la concentració de cautxú present no superi al límit de qualitat pactat. En el cas de la cola es comprovarà que la mida d'aquesta substància en sòlid, tingui la mesura acordada per tal d'evitar que la dissolució que es vol obtenir en aigua no tingui les propietats que interessin.

Un cop superat el control de qualitat es dissoldria la cola en aigua, en un dipòsit. Les fibres s'introduiran a una cinta transportadora que anirà vibrant per tal d'anar tamisant les fibres, obtenint així una capa homogènia.

Durant el recorregut de la cinta amb les fibres ben repartides, s'anirà deixant caure una pel·lícula de la dissolució de cola i aigua que banyarà la capa de fibres. Després d'aquest bany es passarà la mescla per unes calandres que donaran a la combinació el gruix desitjat a més a més d'aconseguir que tota la matèria quedi ben impregnada de la dissolució.

Per tal d'accelerar el assecat de la mescla, la cinta transportadora portarà les fibres, després de passar per les calandres, per un circuit de forns que escalfaran les fibres, evaporant així l'aigua i deixant ben fix les fibres amb la cola.

Finalment es tornarà a passar la mescla per unes altres calandres per tornar a deixar la membrana al gruix desitjat, després passaran per unes cisalles que tallaran el geotèxtil amb les dimensions establertes.

Durant tot el procés s'hauran de realitzar dos controls de qualitat per comprovar en quin estat es troba el producte, aquest control s'efectuaran primer abans de què les fibres passin pel bany de la dissolució de cola i aigua, per comprovar si la proporció de fibres és correcta i per comprovar que la concentració de cola en aigua és l'adequada. El segon control es realitzaria quan el producte que surt de les últimes calandres, per comprovar si el gruix és el desitjat i si s'ha produït alguna fissura en el procés.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

9 Estudi mediambiental.

En l'actualitat els pneumàtics s'utilitzen principalment per aplicar-se als diversos transports terrestres com els cotxes, camions i motos, aquest funcionen gràcies a la combustió de gasoil, generant una gran contaminació atmosfèrica, aquesta contaminació es produeix per l'emissió de substàncies com:

- NO₂ (diòxid de nitrogen) tòxic en altes concentracions i que intervé en la formació de boira fotoquímica.
- CO (monòxid de carboni) tòxic en altes concentracions i en exposicions curtes de temps.
- COV (compostos orgànics volàtils) poden causar reaccions al·lèrgiques o mareig.
- Pb (plom).

Per evitar que aquests vehicles contaminin més, s'ha intentat buscar mètodes per tal de reciclar tots els seus components, els pneumàtics per exemple no són una excepció i tal com s'ha comentat anteriorment s'intenta aprofitar tots els seus components, separant-los i reutilitzant-los en altres aplicacions, tot i així les fibres tèxtils que s'extreuen s'envien a les cimenteres per a cremar, juntament amb altres elements inflamables, aquesta combustió també genera contaminació atmosfèrica, produïda per l'emissió de substàncies com:

- SO₂ (diòxid de sofre) que amb la humitat que es troba en l'atmosfera genera àcid sulfúric produint pluja àcida.
- NO₂ (diòxid de nitrogen) tòxic en altes concentracions i que intervé en la formació de boira fotoquímica.
- CO (monòxid de carboni) tòxic en altes concentracions i en exposicions curtes de temps.

Sabent aquest fet, és interessant la recerca d'aplicacions per aquest tipus de fibres aconseguint així l'aprofitament de tots els components dels pneumàtics al 100%, en aquest cas la utilització de les fibres per a la generació de geotèxtils significaria la reutilització completa dels pneumàtics.

A més a més s'ha de tenir en compte que les fibres són de polièster que és un derivat del petroli, per tant el fet d'aconseguir reutilitzar-lo en comptes de consumir-lo energèticament és un aspecte a tenir en compte positivament.

Si es té en compte el procés de fabricació del geotèxtil es pot observar com en cap moment es produeix una emissió de gasos contaminants tant com en el procés de fabricació de les fibres amb cera, com en el procés de fabricació de les fibres amb cola on l'únic gas que s'emet és vapor d'aigua, quan s'aseca el producte. L'únic residu que es genera en els dos processos és cera sobrant en el procés de fibres amb cera, que es pot reutilitzar afegint-la a la caldera de mescla, i en el cas del geotèxtil de fibres i cola, dissolució de cola i aigua que també es pot reutilitzar si es fa servir un procés de filtratge per eliminar les fibres sobrants que s'hagin pogut mesclar amb ella per després tornar a afegir la dissolució al dipòsit.

 Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 102 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

10 Costos.

A continuació es podrà apreciar quins són els costos de realitzar aquest estudi. Per fer els càlculs s'ha tingut en compte els costos dels recursos humans utilitzats, que es dividiran segons les diferents tasques que s'han dut a terme al llarg de tot l'estudi, a més a més dels costos materials derivats de la part experimental.

Finalment es realitzarà un pressupost aproximat del què podria suposar la implementació dels dos sistemes de producció proposats anteriorment.

En el cas del treball s'ha de tenir en compte que el realitzador és un estudiant del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials, i que per tant tindria un sou de becari de 10 €/h (s'ha de tenir en compte que segons la pàgina oficial de la UPC les practiques en empreses externes de la universitat el sou oscil·la entre 8 €/h i 20 €/h). S'ha considerat que el nombre total d'hores invertides en el treball corresponen a les assignades en la planificació de l'estudi, on entren tant les hores dedicades a l'estudi, com les hores dedicades al treball experimental, com el nombre d'hores invertides en la redacció del document.

Tot i així s'han exclòs del recompte els costos associats a tota l'energia que s'ha consumit (tant en l'estudi, com en la part experimental, com en la redacció), també no s'ha considerat els costos de tots els aparells que s'han utilitzat en la part experimental, ni el cost de l'obtenció de programes informàtics de lectura, de redacció, o de càlcul, que s'hagin necessitat durant tot l'estudi, a més a més s'ha exclòs el cost associat als recursos humans externs necessaris, com per exemple els tècnics de laboratori.

En la *Taula 1* del *Budget* es pot observar com el cost total de l'estudi és de 3.741,46 €.

Pel càlcul del cost de producció de la implementació dels sistemes de producció de geotèxtils proposats no s'ha tingut en compte els costos relatius a la compra i instal·lació de tota la màquinaria necessària, ni tampoc del lloguer de les naus industrials ni magatzems que es podrien utilitzar, ni tot el consum energètic que es podria utilitzar. Únicament s'ha considerat el cost dels materials necessaris i el cost dels operaris és a dir de la mà d'obra necessària per a una bona producció.

S'ha considerat que un cop s'iniciï el sistema de producció en sèrie del geotèxtil de cera aquest tindria una capacitat de 960 peces diàries, és a dir tardaria en fer cada peça 1 minut i 30 segons. En un any podria arribar a produir 350.400 peces, considerant que la indústria es troba els 365 dies a l'any, les 24 hores al dia treballant.

El sistema de producció en sèrie del geotèxtil de cola tindria una capacitat de 576 peces diàries, es tardaria en produir cada rotllo 2 minuts i 30 segons. En un any podria arribar a produir 210.240 peces, considerant com en el cas anterior que la indústria es troba els 365 dies a l'any, les 24 hores al dia produint.

 Secció Terrassa	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
			Pàg.: 103 de 113
			Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics			

En els dos casos les dimensions dels rotllos serien de 2 metres d'amplada per 3 metres de llarg, en el cas de la cera tindrien 3 mil·límetres de gruix i en el cas de la cola 5 mil·límetres.

Per produir cada rotllo de $6m^2$ de cera es necessitaria 2,89 kg de fibres i 18,627 kg de cera, en canvi per produir cada rotllo de $6m^2$ de cola es necessitaria 6,67 kg de fibres i 0,66 kg de cola. En un any el total de material que es necessitaria seria de 2414,9568 tones de fibres, 6526,9008 tones de cera i 138,7584 tones de cola.

En la *Taula 1* de l'*Annex 1* es pot observar com el cost total de producció dels geotèxtils és de 5.106.455,12 € l'any.

El cost de cada rotllo de geotèxtil de fibres amb cera seria de 12,65 €, en canvi el cost de cada rotllo de geotèxtil de fibres amb cola seria de 3,22 €.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 104 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

11 Conclusions.

Actualment hi ha un seguit de característiques que en el món de la indústria se li estan donant molta importància entre ells es troben l'eficiència energètica i la reducció de residus contaminants, és per aquest motiu que la capacitat de poder aprofitar un recurs que actualment no se li dóna un ús industrial, com són les fibres dels pneumàtics, per transformar-lo en un producte que té una importància molt rellevant dins del món de les infraestructures i els equipaments, com són els geotèxtils, és molt interessant, i si a més a més se li afegeix que pot reduir factors que generen contaminants industrials ho transformen en un element clau per una indústria més sostenible.

És per aquests motius que el fet de realitzar estudis que poden demostrar la possibilitat de crear aquest tipus de productes, és essencial per a una millora en el desenvolupament de qualsevol tipus de sector industrial.

Aquest estudi demostra que és certa la possibilitat de crear un producte que pugui intentar simular un geotèxtil a partir de les fibres, tot i així observant els resultats obtinguts en els dos tipus d'assaig i avaluant els costos que suposen la creació d'aquest demostren que almenys les combinacions estudiades, emprant els mètodes utilitzats, no generen un producte competitiu des del punt de vista industrial respecte a altres geotèxtils.

En el cas de les provetes de cera la millor mirant els resultats de l'assaig de tracció i de permeabilitat és la Provena 3 Cera, és la més resistent de les provetes i el tipus de mescla és l'apropiat, tot i així no és molt apropiat anomenar-ho geotèxtil com a tal, ja que la proporció de cera que hi ha en la proveta és molt superior a la proporció de fibres perdent així l'essència de ser un teixit, a més a més no seria viable econòmicament, ja que tal com es pot veure en el informe de costos i en la comparativa amb altres tipus de geotèxtil existents al mercat (*Taula 2 de l'Annex 2*), el de cera té un preu massa elevat, per les propietats que té. A més a més si s'elaborés un assaig de durabilitat els resultats no serien gaire prometedors veient que el simple fet de ser exposat a la llum solar genera canvis degradant el material de manera accelerada.

En el cas de les provetes de cola d'empaperar la millor proveta mirant els resultats dels assaigs és la Provena 2 Cola, és la més resistent i la seva geometria és la més apropiada, en aquest cas sí que es podria parlar d'un geotèxtil com a tal, ja que la proporció de cola que hi ha present és molt menor a la de fibres. Tot i així no es podria qualificar com un geotèxtil d'una qualitat gaire elevada, comparada amb les provetes de cera, aquestes tenen una resistència molt inferior, tenint en compte que les de cera ja són baixes de per si, a més a més, en l'assaig de permeabilitat a part de demostrar que no són impermeables (factor que no té per què ser obligatori en els geotèxtils), es va demostrar que en presència d'aigua es degradaven i perdien la consistència que tenien en sec, factor que demostra la seva poca durabilitat, i s'ha de recordar que la durabilitat dels geotèxtils és un dels factors més importants.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 105 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

Fent una valoració general dels resultats obtinguts es veu clarament que fabricar geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics no és impossible, sinó tot el contrari, tot i així sí que és poc viable, almenys en els casos exposats i utilitzant els mètodes que s'han aplicat, tant des del punt de vista econòmic, com de qualitat de producte.

Tot i així si el que es busca és generar menys residus i obtenir un producte ecològic, produir aquest tipus de material és molt positiu i capaç de solventar almenys, problemes que no exigeixin de productes d'una alta qualitat.



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

12 Futurs Treballs.

Durant tot l'estudi s'han mostrat diferents formes per poder obtenir un material que pogués actuar com a geotèxtil, en aquest cas han estat les fibres de pneumàtics reciclades, amb tres tipus de matrius diferents que proporcionessin la consistència i unió que necessitaven les fibres, aquestes matrius han estat la cera, la cola d'empaperar i el cautxú que s'obté del reciclatge dels pneumàtics.

Com ja s'ha explicat anteriorment el cas de la matriu de cautxú no ha donat uns resultats propicis com per analitzar-los amb més profunditat. Per aquest motiu la proposta per a futurs estudis seria fer un estudi, amb més profunditat sobre la combinació d'aquestes fibres amb els diversos tipus de cautxú que hi ha o amb el propi cautxú que queda mesclat amb les fibres.

Aquesta proposta ve d'arrel de què els mètodes emprats per la unió, de les fibres i el cautxú no han estat els adequats, o no s'han emprat adequadament, per aquest motiu un estudi en profunditat d'aquest tipus d'unió podria resultar en una combinació especialment útil i beneficiosa no només des del punt de vista mediambiental, ja que es reduirien més processos que contaminen, sinó que també econòmic, ja que els mateixos processos que es reduirien suposarien un estalvi econòmic, un d'aquests processos per exemple seria el que separa la fibra del cautxú, que en cas de ser eliminat generaria un estalvi energètic i en conseqüència un benefici ambiental i econòmic.

L'estudi però, no només podria estar centrat en la unió del cautxú dels pneumàtics, sinó que podria abarcar diferents tipus de cautxú o variacions d'aquests que potser son més propicis a unir-se a les fibres o que proporcionarien a aquestes les propietats ideals per a ser un molt bon geotèxtil.

Una altra proposta d'estudi, continuant els coneixements obtinguts d'aquest, seria l'aplicació de les diferents combinacions estudiades per altres aplicacions que no fossin per a enginyeria civil com serien els geotèxtils. Seria interessant estudiar quines altres propietats tenen aquestes mescles per trobar en quin àmbit seria millor aplicar-se.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 107 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

13 Bibliografia.

A partir del gestor de referències bibliogràfiques Mendeley s'obté la següent bibliografia:

Llibres consultats:

Richard Horrocks, A. (1992). *The Durability of geotextiles*. (C. EUROTEx, Ed.) (Monografia). School of Textile Studies Bolton Institute of Higher Education.

S. Ingold, T. (1994). *The Geotextiles and Geomembranes Manual* (1a ed.). Elsevier Advanced Technology.

Pàgines Web consultades i Direccions web d'on s'han extret imatges:

Acolchadoras, Cncm. (2012). Línea de Punzonado para la fabricación de geotextiles. Recuperat 7 febrer 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=bDhxAjC4YXs>

Atarfil. (s.d.). Geotextil No Tejido. Recuperat 7 febrer 2016, de http://www.atarfil.com/productos_y_aplicaciones/productos/geotextiles/geotextil_no_tejido_gtx_nw/

Geofix. (s.d.). Tipos Geotextil. Recuperat 7 febrer 2016, de <http://www.geofixsl.com/?ids=308>

Geotexan. (s.d.). Clasificación de los Geotextiles. Recuperat 7 febrer 2016, de <http://geotexan.com/geotextiles/>

Wikipedia. (2016). Geotextil. Recuperat 7 febrer 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Geotextil>

Wikipedia. (2016). Textil no tejido. Recuperat 7 febrer 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/No_tejido

Construmática. (s.d.). Geotextiles. Recuperat 4 març 2016, de <http://www.construmatica.com/construpedia/Geotextiles>

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 108 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

Danosa. (2015). Geotextiles. Recuperat 4 març 2016, de <http://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=L6>

Geosai. (s.d.). Geotextil. Recuperat 4 març 2016, de <http://www.geosai.com/geotextil.html>

GeoSoluciones. (s.d.). Geotextil. Recuperat 4 març 2016, de <http://www.geomembranas.com.co/productos/geosinteticos/geotextil/>

Geotextil, M. (2016). ¿Qué es una Membrana Geotextil? Recuperat 4 març 2016, de <http://www.membranageotextil.com/>

TexDelta. (s.d.). Geotextiles. Recuperat 4 març 2016, de <http://texdelta.com/geotextiles/>

Wikipedia. (2015). Geopolímero. Recuperat 7 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Geopol%C3%ADmero>

CienciayDesarrollo. (2011). Geopolímeros para un desarrollo sustentable. Recuperat 7 març 2016, de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/249/articulos/geopolimeros-para-un-desarrollo-sustentable.html>

Geotexan. (2014). Previsión del mercado de geotextiles en el mundo 2015-2019. Recuperat 7 març 2016, de <http://geotexan.com/prevision-del-mercado-de-geotextiles-en-el-mundo-2015-2019/>

Investopedia. (2016). Compound Annual Growth Rate - CAGR. Recuperat 7 març 2016, de <http://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp>

Reportstack. (2014). Global Technical Textiles Market 2015-2019. Recuperat 7 març 2016, de <http://www.reportstack.com/product/186610/global-technical-textiles-market-2015-2019.html>

Atarfil. (s.d.). Imatge de Geotextil per a Control de la erosió. Recuperat 7 març 2016, de http://www.atarfil.com/fileadmin/user_upload/images/aplicaciones/14-Control-erosion-p.jpg

Ec.All. (s.d.). Imatge de Geotextil per a Contencio de marees. Recuperat 7 març 2016, de <http://www.ec.all.biz/img/ec/catalog/9215.jpeg>

Geotexan. (s.d.). Imatge de Geotextil per a Impermeabilitzar el terreny per evitar desprendiments de la Autovia Ferrol Villalba a Lugo. Recuperat 7 març 2016, de http://geotexan.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/12114Geotextil-Estanco-Autovia-Ferrol1-m65y9enqwbv6neg8ec5eaooncmjhkwvxv0nxrfuc.jpg

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 109 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

Geotexan. (s.d.). Imatge de Geotextil per a Construcció de las noves pistes del aeroport de Màlaga. Recuperat 7 març 2016, de http://geotexan.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/1690aerop-m65xnf7n1tvfmzc2lw8a2uekk7vale7l84k6kycxdg.jpg

Geotexan. (s.d.). Imatge de Geotextil per a Instal·lació de un geotextil para el drenage de un terraplen en Sevilla. Recuperat 7 març 2016, de http://geotexan.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/5044DSCN3902-m7v0w7f17fg0usg75rleov9i03aow2o8h0rycg30ms.jpg

Geotexan. (s.d.). Imatge Geotextil per a Estabilitzar el Terra i separar els diferents tipus de grava. Recuperat 7 març 2016, de http://geotexan.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/estabiliza-suelos-1024x7681-mc4ed8wjzkowudvwateqkgv7swbl9p5nrmvy51uwu0.jpg

TexDelta. (s.d.). Imatge de Geotextil per a contenció d'un abocador. Recuperat 7 març 2016, de <http://texdelta.com/blog/wp-content/themes/texdelta/scripts/timthumb.php?src=http://texdelta.com/blog/wp-content/uploads/Geotextiles-en-embalses1.jpg&w=656>

ArísteguiMaquinaria. (2016). Qué son los geotextiles y cuáles son sus propiedades. Recuperat 17 març 2016, de <http://aristegui.info/geotextiles-y-sus-propiedades/>

López-Amo, F. (1986). Los Geotextiles. Recuperat 17 març 2016, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6252/Article06.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alineauto. (2014). Imagen Partes Componentes del Neumático. Recuperat 29 març 2016, de <http://www.alineauto.net/file/2014/01/PARTES-COMPONETES-DEL-NEUMATICO.jpg>

BOE. (2006). Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Recuperat 29 març 2016, de <https://www.boe.es/boe/dias/2006/01/03/pdfs/A00352-00357.pdf>

BOE. (2010). Modificación del Real Decreto 1619/2005. Recuperat 29 març 2016, de http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/rd_367_2010_modifica_el_1619_2005.pdf

SIGNUS. (2013). Plan Empresarial de Prevención de Neumáticos Fuera de Uso 2010-2013 (Extracto). Recuperat 29 març 2016, de [http://www.signus.es/es/descarga?h=Plan Empresarial Extracto.pdf](http://www.signus.es/es/descarga?h=Plan+Empresarial+Extracto.pdf)

SIGNUS. (2012). Sistema integrado de gestión de neumáticos usados. Recuperat 29 març 2016, de <http://www.signus.es/>

TNU. (2016). Tratamiento de Neumáticos Usados. Recuperat 29 març 2016, de <http://www.tnu.es/>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Secció Terrassa</div>	<div>Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials</div>	Data: 22-06-2016
		Pàg.:110 de 113
		Robert Boada Quesada
<div>Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics</div>		

Wikipedia. (2016). Neumático. Recuperat 29 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>

URBAR. (2000). Mesa de Separación Densimétricas. Recuperat 29 març 2016, de http://www.urbar.com/es/aplicaciones/e_mesas_densimetricas.htm

A. Gómez, M. (2013). ¿Qué es el almidón? Recuperat 30 març 2016, de <http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/Curiosid/Rc-58.html>

Enciclopèdia.cat. (s.d.). Cautxú. Recuperat 30 març 2016, de <http://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0089607.xml>

Materialestecnicosabasella. (2016). Aglomerantes. Recuperat 30 març 2016, de <https://materialestecnicosabasella.wikispaces.com/Aglomerantes>

Scribd. (s.d.). Ceras. Recuperat 30 març 2016, de <http://es.scribd.com/doc/100642584/ceras-propiedades#scribd>

Viquipèdia. (2016). Òxid de calci. Recuperat 30 març 2016, de https://ca.wikipedia.org/wiki/%C3%92xid_de_calci

Viquipèdia. (2016). Conglomerant. Recuperat 30 març 2016, de <https://ca.wikipedia.org/wiki/Conglomerant>

Viquipèdia. (2016). Cautxú. Recuperat 30 març 2016, de <https://ca.wikipedia.org/wiki/Cautx%C3%BA>

Wikipedia. (2016). Cera. Recuperat 30 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Cera>

Wikipedia. (2016). Higroscopia. Recuperat 30 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Higroscopia>

Wikipedia. (2016). Conglomerante. Recuperat 30 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Conglomerante>

Wikipedia. (2016). Látex. Recuperat 30 març 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1tex>

AENOR. (2014). UNE-EN 13252:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053638>

AENOR. (2014). UNE-EN 13250:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053603>

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Secció Terrassa	Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials	Data: 22-06-2016
		Pàg.: 111 de 113
		Robert Boada Quesada
Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics		

- AENOR. (2014). UNE-EN 13254:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053783>
- AENOR. (2014). UNE-EN 13251:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053637>
- AENOR. (2014). UNE-EN 13249:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053782>
- AENOR. (2014). UNE-EN 13253:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053639>
- AENOR. (2015). UNE-EN 13255:2014+A1:2015. Recuperat 31 març 2015, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0054696>
- AENOR. (2014). UNE-EN 13256:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053785>
- AENOR. (2015). UNE-EN 13265:2014+A1:2015. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0054723>
- AENOR. (2014). UNE-EN 13257:2014. Recuperat 31 març 2016, de <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0053786>
- Calle Trujillo, G. (s.d.). Tracción. Recuperat 18 maig 2016, de <http://www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/Traccion02.pdf>
- E-ducativa.catedu. (s.d.). Ensayo de tracción. Recuperat 18 maig 2016, de http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4913/html/11_ensayo_de_traccin.html
- Matínez, P., & Azuaga, M. (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. Recuperat 18 maig 2016, de http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mecanica/young97.pdf#search=%22%22m%C3%B3dulo de elasticidad%22%22
- Taringa! (2011). Módulo de Poisson. Recuperat 18 maig 2016, de <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/8211001/Modulo-de-Poisson.html>
- UPV. (s.d.). Ensayo de tracción. Recuperat 18 maig 2016, de http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_2.html

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Secció Terrassa</div>	<div>Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials</div>	Data: 22-06-2016
		Pàg.:112 de 113
		Robert Boada Quesada
<div>Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics</div>		

- Wikilingua. (s.d.). Assaig de tracció. Recuperat 18 maig 2016, de http://www.wikilingua.net/ca/articles/e/n/s/Ensayo_de_tracci%C3%B3n.html
- Wikilingua. (s.d.). Mòdul d'elasticidad. Recuperat 18 maig 2016, de http://www.wikilingua.net/ca/articles/m/%C3%B3/d/M%C3%B3dulo_de_elasticidad.html
- Wikipedia. (2016). Tracción. Recuperat 18 maig 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Tracci%C3%B3n>
- Wikipedia. (2016). Coeficiente de Poisson. Recuperat 18 maig 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_Poisson
- Wikipedia. (2016). Límite elástico. Recuperat 18 maig 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmite_el%C3%A1stico
- Wikipedia. (2016). Ensayo de tracción. Recuperat 18 maig 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_tracci%C3%B3n
- Wikipedia. (2016). Módulo de Young. Recuperat 18 maig 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_Young
- Wikipedia. (2016). Fluencia. Recuperat 18 maig 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Fluencia>
- FARFLY. (s.d.). Caldera de Mezcla. Recuperat 26 maig 2016, de <http://www.farfly.es/products/mixing-kettle.html>
- TUSA. (s.d.). La cinta transportadora. Recuperat 26 maig 2016, de <http://www.tusa.es/cintas.html>
- Dugi-doc.udg. (s.d.). Conformació per deformació. Recuperat 6 juny 2016, de http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/2718/3_1.pdf
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2013). Comportamiento mecánico de los materiales Volumen II. Ensayos mecánicos Ensayos no destructivos. Recuperat 6 juny 2016, de https://books.google.es/books?id=TWq_BAAQBAJ&pg=PA25&lpg=PA25&dq=recta+del+0,002%25&source=bl&ots=hnPKT8Z37A&sig=dM5-jxJAUPqPi8LNyQk-n2WVlzM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj6YfE2ZXNAhUJrxoKHQzTAP8Q6AEIKDAC#v=onepage&q=recta del 0%2C002%25&f=false
- Sostenibilidad, D. de T. y. (2009). Principales contaminantes. Recuperat 6 juny 2016, de http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/atmosfera/la_contaminacio_atmosferica/principals_contaminants/



Estudi de viabilitat de fabricació de geotèxtils a partir de fibres reciclades de pneumàtics

SoloStocks. (2016). Paquete geotextil Profitex Heissner. Recuperat 9 juny 2016, de <http://www.solostocks.com/venta-productos/equipamiento-jardin/decoracion-jardin/paquete-geotextil-profitex-heissner-15795297>

SoloStocks. (2016). Geotextil de fibra no tejida. Recuperat 9 juny 2016, de <http://www.solostocks.com/venta-productos/otros-construccion/geotextil-de-fibra-no-tejida-3687725>